

Led-valaisimen kehittäminen

Anssi Miettinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä Miettinen, Anssi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2017
	Sivumäärä 67 ja liitteet 9 sivua	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Led-valaisimen kehittäminen		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaajat Luosma Petri, Sipilä Juha		
Toimeksiantaja Lehto Trading Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Lehto Trading Oy. Yrityksellä oli tarve tuoda markkinoille erityisesti endurokäyttöön soveltuva kypärävalaisin. Valaisimen piti soveltua myös muihin käyttötarkoituksiin, kuten kalastukseen ja työmaakäyttöön. Opinnäytetyössä valaisimelle kehitettiin kotelointi, kiinnitysjärjestelmä sekä myyntipakkaus. Valaisin pohjautui toimeksiantajan valmistamaan, led-teknologiaa hyödyntävään, piirikorttiin, jossa valoina toimi neljä led-elementtiä. Työ rajattiin käsittelemään ainoastaan valaisimen mekaanista rakennetta, jolloin valaisimen elektroniikka jäi tutkimuksen ulkopuolelle.</p> <p>Opinnäytetyö oli luonteeltaan kehittämistutkimus, jossa pyrittiin myyntivalmiin tuotteen kehittämiseen. Tuotekehityksessä seurattiin VDI2221- ohjeistuksen mukaista tuotekehitysmallia, joka voidaan nähdä perinteisenä neljästä tuotekehityksen vaiheesta koostuvana vesiputousmallina. Tuotekehityksen apuna käytettiin nykyaikaisia suunnittelun apuvälineitä, kuten tietokoneavusteisia simulaatioita sekä pikamallinnettua prototyyppiä. Työssä tutkittiin myös eri materiaalien ja pintakäsittelymenetelmien soveltuvuutta valaisimen valmistukseen.</p> <p>Työn tuloksena saatiin luotua dokumentaatiot, joiden avulla toimeksiantaja pystyi valmistamaan tuotteen sekä lanseeraamaan sen myyntiin. Työn tulokset kattoivat 3D-mallien ja työpiirustusten lisäksi valmistusmateriaalien ja –menetelmien määrityksen, tuotteen käyttöohjeiden laadinnan sekä myyntipakkauksen suunnittelun. Työssä kartoitettiin valaisimen osalta myös jatkokehityksiä, joilla tuotteen valmistuksen kannattavuutta ja asiakasarvoa voidaan parantaa entisestään. Valaisimen myynti aloitettiin marraskuussa 2016 ja työn tavoitteet saavutettiin.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Tuotekehitys, koneensuunnittelu, kypärävalo, prototyyppi, 3D-tulostus, anodisointi		
Muut tiedot		

Author Miettinen, Anssi	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 67 p. and 9 p. appendices	Permission for web publication: x
Title of publication Developing of a LED lamp		
Degree programme Mechanical and product engineering		
Supervisors Luosma Petri, Sipilä Juha		
Assigned by Lehto Trading Oy		
<p>Abstract</p> <p>The thesis was assigned by Lehto Trading Oy. The company was planning on releasing a LED lamp designed especially to be used in enduro driving. The lamp had to be applicable for other usages, such as fishing or construction work. The casing, attachment system and sales packaging were designed in the thesis. The lamp was based on a LED panel made by Lehto Trading Oy. The thesis focused only on the mechanical structure, leaving the electrical components out of the study.</p> <p>The thesis was a development study which aimed to produce a product that was ready to be sold. The development process followed VDI2221 guidelines which contain four different stages of development. Computer based simulations and rapid prototyping were used to aid the design. Different casing materials and surface treatments were also studied in the thesis.</p> <p>As the end result of the thesis, Lehto Trading Oy got the needed documentation to be able to manufacture the lamp. The thesis covered 3D -modeling and technical drawing of the product, as well as designing the sale packaging and user manual. Further development of the manufacturing process and cost, as well as user ergonomics that can enhance the user experience, were also investigated in the thesis. The lamp was launched for sale in November 2016 and the goals of the thesis were met.</p>		
Keywords/tags (subjects)		
Product development, machine design, helmet light, prototype, 3D -printing, anodizing		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Termit	5
2	Johdanto	7
2.1	Lehto Trading Oy	7
3	Tutkimuksen tavoitteet	8
3.1	Tutkimusmenetelmät	9
3.1.1	Kvalitatiivinen tutkimus	10
3.1.2	Kvantitatiivinen tutkimus	10
3.1.3	Yhdistelmä tutkimus	11
3.2	Tutkimusongelmat.....	11
3.3	Tutkimussuunnitelma	11
3.3.1	Tutkimuksen toteutus.....	12
3.3.2	Tutkimuksen rajausta.....	13
3.3.3	Aineiston analysointi	13
4	Tuotekehitys	14
4.1	Tuotekehitysmenetelmät	14
4.1.1	Peräkkäismalli	15
4.2	DFMA-suunnitteluperiaate.....	20
4.3	Tulosten suojaaminen	22
5	Tietokoneavusteinen suunnittelu	23
5.1	FEM-laskenta	23
5.2	Tietokoneavusteinen virtaussimulaatio	24
6	Tutkitut valmistusmenetelmät	25
6.1	Valaminen.....	25

6.2	Suulakepuristus	27
6.3	Jyrsiminen.....	28
6.4	Ainetta lisäävät valmistusmenetelmät.....	30
7	Alumiinin pintakäsittelymenetelmät	32
7.1	Anodisointi	32
7.1.1	Värjäysmenetelmät	34
8	Opinnäytetyön toteuttaminen ja tulokset	35
8.1	Kotelorakenne ja sen kehitysversiot	36
8.1.1	Linssi	38
8.1.2	Lujuuden simulointi	40
8.1.3	Valaisimen tiivistäminen.....	43
8.1.4	Kiinnitysratkaisut	44
8.2	Lämpötilan hallinta.....	46
8.2.1	Materiaalin vaikutus käyttölämpötilaan ja materiaalin valinta	47
8.2.2	Lämpötilan simulointi	50
8.3	Prototyyppien valmistus ja hyödyntäminen	52
8.3.1	Prototyyppien hyödyntäminen suunnittelussa	52
8.3.2	3D-tulostettu prototyyppi	53
8.3.3	Alumiinista koneistettu prototyyppi	53
8.3.4	Prototyypin anodisointi	56
8.4	Massan optimointi.....	57
8.5	Valmistusmenetelmän valinta.....	59
8.6	DFMA-menetelmän hyödyntäminen suunnittelussa	60
9	Pohdinta	61
9.1	Jatkotutkimusaiheet	63

9.1.1	Valmistuseräkoon vaikutus tuotteen yksikkökustannuksiin	64
9.1.2	Vaihtoehtoisten valmistusmenetelmien hyödyntäminen.....	64
9.1.3	Fysiologinen tutkimus käyttäjän niskan kuormituksesta	64

Lähteet	65
----------------------	-----------

Liitteet	68
-----------------------	-----------

Liite 1.	Myyntipakkauksen havainnekuva (Masijet Oy)	68
Liite 2.	Valaisimen käyttöohjeet.....	69
Liite 3.	Kypärävalovertailu	70

Kuviot

Kuvio 1.	Tuotekehitysprojektin luonnosteluvaiheen tehtäväkulku.	16
Kuvio 2.	Tuotekehitysprojektin viimeistelyvaiheen tehtäväkulku.	19
Kuvio 3.	Valaisimen ulkokotelon elementtimalli.....	24
Kuvio 4.	Suulakepuristuksen havainnekuva.	27
Kuvio 5.	koneistuksen havainnekuva.	29
Kuvio 6.	FDM-menetelmän toimintaperiaate.	31
Kuvio 7.	Kotelorakenteen ensimmäinen kehitysversio.....	36
Kuvio 8.	Kotelorakenteen toinen kehitysversio.	37
Kuvio 9.	Valaisimen lopullinen rakenne.	38
Kuvio 10.	Valaisimen kotelon rasitukset 1.	40
Kuvio 11.	Valaisimen kotelon rasitukset 2.	41
Kuvio 12.	Kotelorakenteen väsymistarkastelu.....	42
Kuvio 13.	O-rengastiivistyksen mitoituslaskelmat.	44
Kuvio 14.	Valaisimen kiinnike.....	45
Kuvio 15.	PE-HD muovista valmistetun valaisimen lämpötilasimulaation tulokset.	48
Kuvio 16.	Alumiinista valmistetun valaisimen lämpötilasimulaation tulokset.	49
Kuvio 17.	Jäähdytysrivoituksen uusi rakenne.	50

Kuvio 18. Jäähdytysilman virtaus valaisinta käytettäessä.	51
Kuvio 19. Valaisimen pikamallinnettu prototyyppi.	53
Kuvio 20. Valaisimen anodisoitu ulkokotelo.	57

Taulukot

Taulukko 1. DFMA suunnittelun yleiset ohjeet ja saavutettavat hyödyt.....	21
Taulukko 2. Anodisoinnin työvaiheet.....	33
Taulukko 3. Polykarbonaatin ja akryylin vertailutaulukko	39

1 Termit

3D	Kolmeulotteinen, Three dimensional
3D-tulostaminen	Kolmeulotteinen tulostaminen, ainetta lisäävistä valmistusmenetelmistä käytetty termi
ABS	Akryylinitriilibutadieenistyreeni, teollisuudessa yleisesti käytetty termoplastinen muovi
Abstrahointi	Tavoitteiden yleistäminen
AM	Ainetta lisäävä valmistusmenetelmä
Amorfinen aine	Aine, jolla ei ole selvää sulamispistettä
Anodi	Sähkökemiallisessa parissa se napa, jossa tapahtuu hapetusreaktio
Anodisointi	Alumiinin pintakäsittely, jossa tuotteen pinnalle muodostetaan kova oksidikerros
Benchmark	Kilpailijoiden tuotteen vertaaminen omaan tuotteeseen
CAD	Computer aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CAM	Computer aided manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus
CFD	Numeerinen virtausdynamiikka
CNC	Computer numeric control, työstökoneen numeerinen ohjaus
DFM	Tuotesuunnittelu, jossa valmistettavuuteen on kiinnitetty erityistä huomiota

DFMA	Tuotesuunnittelu, jossa valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen on kiinnitetty erityistä huomiota
Elektrolyysi	Sähkövirralla aikaansaatu hapetus-pelkistysreaktio
Elektrolyytti	Sähköä johtava liuos
FDM	Fused deposition modeling, materiaalin pur-sotukseen perustuva ainetta lisäävän valmis-tuksen teknologia
FEM	Finite element method, elementtimenetel-mään perustuva tietokoneavusteinen lujuus-laskenta
Filamentti	Kiinteä nauhamainen 3D-tulostusmateriaali
G-koodi	Numeerisessa ohjauksessa käytetty komen-tokieli
Katodi	Sähkökemiallisessa parissa se napa, jossa ta-pahtuu pelkistysreaktio
Lasiirtymälämpötila	Lämpötila, jonka yläpuolella amorfisen mate-riaalin viskositeetti muuttuu ja siitä tulee juoksevaa
LED	Valoa säteilevä diodi
PLA	Polylaktidi, biohajoava termoplastinen muovi
Prototyyppi	Tuotekehityksen jossain vaiheessa käytetty alustava malli
Viskositeetti	Nesteen tai kaasun virtauksen vastustamista kuvaava suure

2 Johdanto

LED-valaisinteknologian kehittyminen on mahdollistanut entistä kevyempien ja tehokkaampien kypärävalojen valmistamisen. Led-teknologiaa hyödyntävien valaisinten koko on pienempi ja hyötysuhde on huomattavasti parempi kuin perinteisiä teknologioita hyödyntävien. Valaisimen hyötysuhteella on hyvin suuri merkitys varsinkin käytössä, jossa valaisimen käyttämä sähköenergia joudutaan kuljettamaan mukana akkuihin varastoituna. Paremman hyötysuhteen ansiosta samaan valotehoon tarvittava sähköteho jää pienemmäksi, jolloin myös hukkalämpö vähenee. Tämän takia valaisimen kotelosta voidaan tehdä kevytrakenteisempi, eikä käyttäjän tarvitse kuljettaa mukanaan niin suurta akustoa, kuin huonomman hyötysuhteen omaavan valaisimen kanssa tarvitsisi.

Tämän työn toimeksiantaja Lehto Trading Oy valmistaa LED-tekniikkaan perustuvia valaisimia, joiden haluttuja käyttökohteita ovat muun muassa kypärä- ja työmaakäyttö. Työssä tuli suunnitella valaisimelle kotelointi- ja kiinnitysratkaisu, joka mahdollistaa sen monipuolisen käytön vaihtelevissa olosuhteissa. Työ kattoi valaisimen mekaanisen suunnittelun lisäksi käytettävien valmistusmenetelmien, eri komponenttien valmistusmateriaalien sekä pintakäsittelymenetelmien valinnan. Työssä tutkittiin myös valaisimen käytettävyyttä prototyyppien avulla.

Työn tuloksena toimeksiantajalle saatiin suunniteltua myyntivalmis tuote, joka lanseerattiin myyntiin marraskuussa 2016.

2.1 Lehto Trading Oy

Tämän opinnäytetyön tilaajana toiminut Lehto Trading Oy:n on vuonna 2011 perustettu yritys, jonka toiminta on jakautunut kolmeen eri toimialaan. Lehto Trading Oy toimi vuodesta 2006 lähtien nimellä Laitehuolto Jani Lehto Tmi, mutta toiminnan laajentuessa yrityksen nimi ja yritysmuoto muutettiin nykyiseen muotoonsa. Yhtiön kotipaikka on Rantsilassa.

Tyovalot.fi on työkonevalojen, valojen xenon-muutossarjojen sekä lisälämmittimien maahantuontiin ja myyntiin keskittynyt yritys, joka kuuluu Lehto Trading Oy:öön. Yrityksen verkkokauppa on osoitteessa www.tyovalot.fi. Saman nimen alla toimii myös 20 kuljettajasta koostuva enduro tiimi, Tyovalot.fi Racing Team.

Siikalatvan Laitahuolto on Lehto Trading Oy:n aputoiminimi. Laitahuolto keskittyy elektroniikka- ja sähkölaitahuoltoihin, elektroniikkasuunnitteluun, konsultointiin sekä sähkösuunnitteluun ja –asennukseen. Elektroniikkahuollossa yritys keskittyy pääasiassa raskaskoneiden elektroniikkahuoltoihin. Yrityksellä on myös 2-tason sähköurakointioikeudet, jotka mahdollistavat kiinteistöjen sähköasennukset.

Mybeta.fi on myös Lehto Trading Oy:n aputoiminimi, joka toimii verkossa osoitteessa www.mybeta.fi. Mybeta on verkossa toimiva suomen suurin Beta-merkkisten enduropyörien varaosaliike. Beta -merkkisten moottoripyörien varaosanimikkeitä yritykseltä löytyy jo 500 kappaletta. Yrityksen vahvuuksina voidaan pitää palvelun laatua, lyhyitä toimitusaikoja sekä kattavaa varaosavalikoimaa.

Lehto Trading Oy:n liikevaihdosta tällä hetkellä noin 30 % tulee työvalomyynnistä, 50 % laitehuollosta ja sähköurakoinnista ja 20 % moottoripyörien ajoneuvo- ja varaosamyynnistä. Yrityksessä työskentelee tällä hetkellä omistajan lisäksi yksi osa-aikainen työntekijä.

3 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia LED valaisimen kotelon valmistukseen käytettävien valmistusmenetelmien ja materiaalivevaihtoehtojen soveltuvuutta pienerä-tuotantoon. Työssä tutkitaan myös kotelon rakenteen vaikutusta tuotteen valmistuskustannuksiin sekä käytettävyyteen. Tutkimus on luonteeltaan kartoittava kehittämistyö, ja sen tuloksena on tarkoitus suunnitella fyysinen valaisin, joka täyttää sille asetetut toiminnalliset ja taloudelliset vaatimukset.

Tutkimuksen perusteella työssä suunnitellaan LED-valaisimelle kotelointi- ja kiinnitysjärjestelmä. Koteloratkaisun pitää mahdollistaa valaisimen käyttö useissa eri käyttökohteissa. Myös valaisimen kiinnitysratkaisun on oltava hyödynnettävissä laajasti. Koteloinnin on suojattava valaisimen elektroniikkaa niin mekaanisilta rasituksilta, kuin

kosteudeltakin. Kotelorakenteen on siirrettävä valaisimen käytössä syntyvä lämpö pois elektroniikasta. Valaisimen ulkomitat sekä massa on minimoitava, jotta sen käyttö esimerkiksi endurokypärään kiinnitettynä olisi mahdollisimman ergonomista. Mittojen minimoimisella pyritään myös vähentämään valaisimen tarttumista esteisiin käytön aikana.

Valaisimen osista tehdään niiden valmistukseen tarvittavat työpiirustukset sekä koonpanokuva. Suunnittelussa pyritään välttämään erillisiä työkalu- ja muottikustannuksia. Kotelo pyritään suunnittelemaan siten, että sen valmistaminen on mahdollista standardityökaluja käyttäen.

Työssä suunnitellaan tuotteelle myyntipakkaus ja laaditaan valaisimen käyttöohjeet sekä käyttöturvatieotteet, jotka lisätään myyntipakkaukseen. Työn laajuuden vuoksi nämä työnvaiheet jätetään pois tästä raportista.

3.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmillä tarkoitetaan työvälineitä, joilla hankitaan haluttua kiinnostuksen kohteena olevaa tietoa. On olemassa lukuisia kysymyksiä, joita käytetään tutkimusmenetelmien hahmottamiseen. Ne voivat käsitellä esimerkiksi tietyn ilmiön muodostumiseen, esiintymiseen tai luonteeseen liittyviä seikkoja. Kysymysten keskiössä voi olla myös henkilöiden kokemus ilmiöstä. Kun tarvittavaa tietoa ja sen luonnetta on saatu kartoitettua teoreettisella tasolla, valitaan seuraavaksi halutun tiedon saavuttamiseksi kvalitatiivinen- tai kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä. Halutun tiedon laatu vaikuttaa siihen, kumpaa tutkimusmenetelmää käytetään. Määrälliselle eli kvantitatiiviselle tutkimukselle on luonteenomaista, että kerätty tieto on numeraalista. Vastaavasti laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen pyrkimyksenä on tuottaa merkityksien ja ilmiöiden ymmärtämisen kannalta keskeistä tietoa. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa hyödynnetään sellaisia tutkimusmetodeja, joissa tutkimuksen kohteena olevien ihmisten kokemukset ja mielipiteet pääsevät esiin. (Vilkkä. 2015, 66-67; Hirsjärvi, ym. 2013, 164.)

Tutkimuksia ei kuitenkaan aina ole järkevää toteuttaa pitäytymällä tiukasti vain kvalitatiivisissa tai kvantitatiivisissa tutkimusmenetelmissä. Tutkimuksissa saavutetaan usein paras lopputulos, kun tutkimusmenetelmiä yhdistetään niin kutsutuksi yhdistelmä tutkimukseksi. (Malina, ym. 2011, 59-60.)

3.1.1 Kvalitatiivinen tutkimus

Kvalitatiivisen tutkimuksen keskeisenä ajatuksena on kohteen kokonaisvaltainen tarkastelu tiedonhankinnan näkökulmasta. Aineiston kokoaminen tapahtuu mahdollisimman realistisissa sekä luonnollisissa tilanteissa siten, että tutkittavien henkilöiden näkökulmat tulevat esiin. Lähtökohtaisesti tutkija luottaa valikoidusta, ihmisten muodostamasta kohdejoukosta saatujen havaintojen ja keskustelujen pohjalta kerätyn aineiston olevan luotettavampaa, kuin mittausvälineillä saatavan tiedon. Eräitä kvalitatiivisen tutkimuksen välineitä ovat muun muassa lomakkeilla tehty kyselyt ja testit. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2013, 164.)

3.1.2 Kvantitatiivinen tutkimus

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa tyypillistä on sen pohjautuminen aiempiin tutkimuksiin ja teorioihin. Keskeisenä ajatuksena on se, että todellisuuden rakenteen katsotaan muodostuvan tosiasioista, joita voidaan tarkastella objektiivisesti. Tutkimusmenetelmälle on myös luonteenomaista hypoteesin esittäminen. Havaintoaineistoa kerätään koejärjestelyillä tai aineistonkeruilla ja sen täytyy olla soveltuvaa määrälliseen- ja numeeriseen mittaukseen.

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa tutkittavien henkilöiden valinta perustuu tarkkoihin koehenkilömäärityksiin sekä otantasuunnitelmiin. Käytännössä tehdään perusjoukon määrittely, jossa tulokset pätevät. Tämän jälkeen valitaan perusjoukosta otos käsiteltäväksi. Oleellista on myös se, että aineiston käsittely voidaan toteuttaa tilastollisesti. Varsinaisesta havaintoaineistosta tehtävät päätelmät perustuvat tilastolliseen analysointiin. (Hirsjärvi, ym. 2013, 140-141.)

3.1.3 Yhdistelmätutkimus

Yhdistelmätutkimuksessa hyödynnetään samanaikaisesti sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Tällä pyritään siihen, että tutkimuksella saataisiin kattavampia ja monipuolisempia tuloksia, kuin mitä kummallakaan tutkimusmenetelmällä olisi erikseen mahdollista saada. Tyypillisesti kvalitatiivisilla tutkimusmenetelmillä saavutetut tulokset vastaavat kysymyksiin miksi ja miten, kun taas kvantitatiivisilla menetelmillä saadaan vastaus esimerkiksi kysymyksiin kuinka usein ja kuinka paljon. Kumpikaan menetelmä erikseen käytettynä ei tarjoa täysin aukottomia tutkimustuloksia monimutkaisista tutkimuskohteista, vaan tulokset ovat avoimia erilaisille tulkinnoille ja riippuvat käytetystä tutkimusmenetelmästä. Tästä syystä eri tutkimusmenetelmiä ei tule nähdä toisiaan poissulkevinä, vaan täydentävinä menetelminä, jotka osaltaan auttavat ymmärtämään tutkittua ilmiötä. (Malina, ym. 2011, 59-61.)

3.2 Tutkimusongelmat

Tutkimuksella pyritään ratkaisemaan seuraavat tekniset ja taloudelliset ongelmat:

- valaisimen elektroniikan suojaaminen mekaanisilta rasituksilta, kosteudelta ja ylikuumenemiselta mahdollisimman kevyellä rakenteella
- valaisimen kiinnittäminen useisiin käyttökohteisiin
- valmistuskustannusten minimoiminen piensarjatuotannossa.

Tutkimusongelmia ei voida ratkaista toisistaan erillisinä, koska valitut ratkaisut vaikuttavat myös muihin ongelmakohtiin ja niiden ratkaisuvaihtoehtoihin. Siksi ongelmien ratkaisuissa on pyrittävä löytämään kokonaisuuden kannalta paras mahdollinen kompromissi.

3.3 Tutkimussuunnitelma

Tällä tutkimuksella on tarkoitus saada ratkaistua valaisimen koteloinnin ja kiinnityksen aiemmin mainitut tutkimusongelmat. Tarkoitus on tuottaa myös valaisimen

myyntiin saattamiseksi tarvittava tieto ja dokumentointi. Tutkimuksessa pyritään selvittämään lopputuotteen toiminnallisuuden ja laadun kannalta kriittiset ominaisuudet ja rakenneratkaisut kullekin vaiheelle sopivilla tutkimusmenetelmillä.

3.3.1 Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen laajuuden ja monipuolisuuden vuoksi sen toteuttamiseksi tullaan käyttämään niin kvalitatiivisia kuin kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Työn pääasialliset tutkimusmenetelmät noudattavat kvantitatiivisen tutkimuksen kriteereitä, sillä niiden tulokset ovat suurelta osin numeerisesti mitattavia arvoja. Kvantitatiiviset tutkimusmenetelmät eivät kuitenkaan tarjoa riittävää tietoa valaisimen käyttökokemuksista eikä kiinnityksen toiminnasta todellisessa käyttöympäristössä. Tästä syystä työssä tullaan hyödyntämään myös kvalitatiivisilla tutkimusmenetelmillä kerättyä aineistoa, kuten valmistettavien prototyyppien koekäytöstä saatavaa tietoa tuotteen ja kiinnityksen toiminnasta sekä valaisimen esteettisyydestä. Varsinaista käytettävyydestä tutkimusta ei työn aikataulun puitteissa ja käytettävissä olevilla resursseilla saada toteutettua.

Kvantitatiivisina tutkimusmenetelminä työssä tullaan käyttämään ominaisuuksien kuvaamiseen tarvittavia fysikaalisia laskuja, sekä tietokoneella tehtäviä simulaatioita, joilla saadaan selvitettyä tutkimusongelmien ratkaisemiseksi tarvittavaa tietoa. Parhaan valmistustavan määrittämiseksi ja valmistuskustannusten minimoimiseksi työssä ollaan yhteydessä eri valmistajiin.

Tutkimus voidaankin nähdä yhdistelmä tutkimuksena, jossa aluksi kerätään tietoa kvantitatiivisilla menetelmillä, jotta valaisimen toiminnalliset vaatimukset saadaan täytettyä. Tätä tietoa täydennetään kvalitatiivisilla menetelmillä saaduilla tiedoilla, jotta tuotteesta saadaan käyttäjän kannalta mahdollisimman toimiva ja houkutteleva.

3.3.2 Tutkimuksen rajaus

Tutkimus rajataan koskemaan ainoastaan valaisimen kotelon, kiinnityksen ja sähköliittimen suunnittelua. Suunnittelussa keskitytään näiden valaisimen osien mekaaniseen rakenteeseen, käytettävyyteen ja tuotannollisuuteen. Mekaniikkasuunnitteluun sisältyy mallisuunnittelun lisäksi osien materiaalivalinnat, sekä tuotantoon tarvittavien valmistuskuvien ja CAD- mallien tekeminen. Valaisimen elektroniikkasuunnittelu ei kuulu tutkimukseen.

3.3.3 Aineiston analysointi

Tutkimuksen aineiston analysointiin käytetyt menetelmät voidaan jaotella aineistolähtöisiksi- ja teorialähtöisiksi sisältöanalyysiksi. Aineistolähtöisissä sisältöanalyysimenetelmissä tutkimusaineistosta pyritään löytämään jokin toiminnan logiikka, jonka perusteella tutkimusaineistoa ryhdytään ryhmittelemään ja pelkistämään. Tutkimusaineiston ryhmittelyn lähtökohtana pidetään tutkimuskysymyksiä ja tutkimusongelmia, joihin ollaan etsimässä ratkaisua. Ryhmittelyn tuloksista muodostuu käsitteitä ja luokitteluja, joilla pyritään ymmärtämään tutkimuksen kohdetta. (Vilkkä 2015, 163-164.)

Teorialähtöisessä sisältöanalyysissä tutkimus nojaa aikaisemmin tutkittuun ja oikeaksi osoitettuun teoriaan tai malliin, joka ohjaa tutkimuksen ja käsitteiden määrittelyä. Teorialähtöisessä sisältöanalyysissä tavoitteena on uudistaa tai täydentää tutkimuksen antamien tulosten ja merkitysten perusteella teoreettista käsitystä tutkittavasta asiasta. (Vilkkä 2015, 170-171.)

Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia analysoidaan hyödyntämällä teorialähtöistä sisältöanalyysiä. Saatuja tutkimustuloksia pyritään valikoimaan mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi tietokoneanalyysien ja valmistettavien prototyyppien pohjalta saaduilla tiedoilla.

4 Tuotekehitys

Tuotekehitys on ollut osana ihmiskunnan kehitystä jo esihistoriallisesta ajasta lähtien. Yksilö tai yhteisö, joka on tiennyt muita paremman tavan esimerkiksi tulen sytyttämiseen tai kivityökalun valmistamiseen, on saanut merkittävän edun muihin nähden. Myös 1800-luvulla alkanut teollinen vallankumous voidaan nähdä suorana seurauksena parempien tuotantomenetelmien- ja koneiden kehittämisestä.

Tieteenalana tuotekehitys on kuitenkin verrattain uusi. Sen voidaan nähdä alkaneen 1940- ja 1950 lukujen vaihteessa, pohjautuen muun muassa Kesselringin (1954) ja Tschochnerin (1954) tutkimuksiin. (Jokinen 2001, 11.)

Nykyisin useissa yrityksissä panostetaan järjestelmälliseen tuotekehitykseen, koska siitä koetaan saatavan kilpailuetua muihin toimijoihin nähden. Järjestelmällisellä tuotekehityksellä pyritään takaamaan se, että yrityksen tarjoamat tuotteet vastaavat asiakkaiden tarpeita ja että tuotteet ovat markkinoilla oikeaan aikaan. Hyvin toteutulla tuotekehityksellä voidaan myös laskea tuotteen suunnittelusta, valmistuksesta ja rahdeista aiheutuvia kustannuksia. Tämän ansiosta tuotteita voidaan myydä edullisempaan hintaan, jolloin siitä tulee asiakkaan kannalta houkuttelevampi. (Jokinen 2001, 10-11.)

4.1 Tuotekehitysmenetelmät

Tuotekehitysprojekteissa käytettävät menetelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen erilaiseen malliin, peräkkäismalliin sekä spiraalimalliin. Peräkkäismallia kutsutaan usein myös vesiputousmalliksi, sillä siinä peräkkäiset tuotekehityksen vaiheet seuraavat toisiaan, eikä seuraavaa vaihetta voida aloittaa ennen kuin edellinen vaihe on saatu valmiiksi. Spiraalimallissa tuotekehityksen vaiheet limittyvät keskenään ja aikaisempiin työvaiheisiin voidaan tarpeen mukaan palata. (Hietikko 2015, 45.)

Tässä työssä keskityttiin peräkkäismallilla toteutettuun tuotekehitykseen, sillä sen katsottiin soveltuvan parhaiten yksittäisen tuotteen kehittämiseen.

4.1.1 Peräkkäismalli

Systemaattisen tuotekehityksen peräkkäismalli pohjautuu saksalaisen VDI-insinööriyhdistyksen esittämään nelivaiheiseen tuotekehityksen vaiheistukseen, joka on esitetty tarkemmin VDI 2221 ohjeistuksessa. VDI 2221 ohjeistuksessa tuotekehityksen vaiheet ovat nimetty vapaasti suomennettuna: tehtävän selvennykseksi, konseptisuunnitteluksi, tarkennussuunnitteluksi ja yksityiskohtien suunnitteluksi. (Birkhofer, ym. 2006. 45-47.)

Peräkkäismallin vaiheiden nimet vaihtelevat lähteittäin, mutta niiden sisältö pysyy suurelta osin samana. Tässä työssä on noudatettu Tuotekehitys-kirjassa (Jokinen, 2001) käytettyjä vaiheiden nimityksiä, jotka ovat: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely.

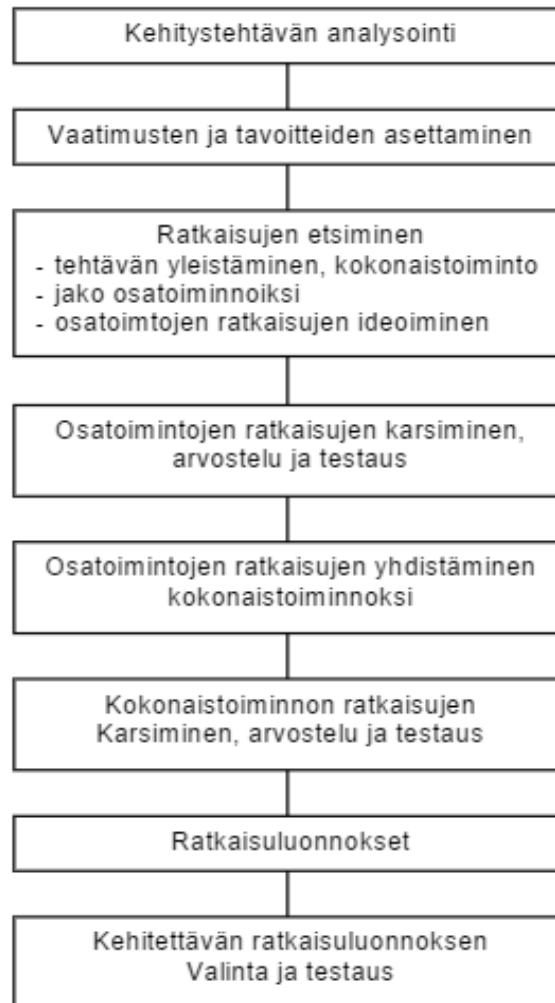
Käynnistäminen

Tuotekehitysprojektien käynnistymiseen johtavana alkusysäyksenä on usein se, että tarve uudelle tuotteelle tunnistetaan. Ilman potentiaalisten asiakkaiden kokemaa tarvetta ei kaupalliseen menestykseen tähtäävää tuotetta kannata kehittää, koska sille tuskin olisi markkinoilla kysyntää. (Jokinen 2001, 17-18.)

Ennen tuotekehitysprojektin käynnistämistä on tarkasteltava myös tuotteen kehittämismahdollisuuksia. Yrityksen ei kannata käyttää resursseja sellaisen tuotteen kehittämiseen, jota ei reaali maailmassa ole mahdollista toteuttaa. Myös sellaisen tuotteen, jonka kustannukset ylittävät arvion siitä, kuinka paljon asiakas on tuotteesta valmis maksamaan, kehittäminen ei ole järkevää. (Jokinen 2001, 17-18.)

Luonnostelu

Tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa on hyvä luonnostella erilaisia vaihtoehtoja lopputuotteelle. Luonnosteluprosessi seuraa usein kuviossa 1 esitettyä polkua. Luonnostelussa kannattaa hyödyntää esimerkiksi käsivaraisesti piirrettyjä hahmotelmia, joiden ei vielä tässä vaiheessa tarvitse olla kokonaisuudessaan valmiita tai kaikkiin haasteisiin vastaavia. Luonnosten tulee kuitenkin olla sen hetkisen tiedon valossa parhaita mahdollisia ratkaisuja käsiteltävään ongelmaan. (Hietikko 2015, 101.)



Kuvio 1. Tuotekehitysprojektin luonnosteluvaiheen tehtäväkulku. (Jokinen 2001, 22.)

Luonnostelussa tulisi ottaa huomioon aiemmin määritetyt vaatimukset ja tavoitteet, sekä pyrkiä löytämään ratkaisu, joka täyttää nämä ehdot mahdollisimman hyvin. Luonnosteluvaiheessa ongelmat ja toiminnot pyritään jakamaan pienemmiksi osakokonaisuuksiksi, jolloin ne on helpompi ratkaista. Tässä vaiheessa erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja kannattaa miettiä mahdollisimman laaja-alaisesti, eikä erikoisiltakaan vaikuttavia ideoita kannata tyrmätä ennen niiden tarkempaa tutkimista. Erilaiset ideat on hyvä myös kirjata ylös, jolloin niihin voidaan palata uudelleen, mikäli tarve niin vaatii. Ratkaisuvaihtoehtojen haussa on hyvä tutustua myös kilpailijoiden tarjoamiin tuotteisiin, sekä siihen miten niissä on kyseiset ongelmat ratkaistu. Kilpailijoi-

den tuotteisiin tutustumista kutsutaan myös niiden benchmarkaukseksi. Benchmarkauksella pystytään myös saavuttamaan kilpailuetua, sillä huolellisesti toteutettuna sillä voidaan löytää ratkaisuja, jotka toimivat paremmin kuin kilpailijoiden käyttämät ratkaisut. (Jokinen 2001, 21-22; Hietikko 2015, 74-103.)

Kun tuotteen suunnittelussa olevat haasteet on saatu jaettua pienemmiksi osiksi ja niihin on löytynyt useita mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja, täytyy niitä tarkastella ja arvioida kriittisemmin, jotta jatkokehitykseen saadaan valittua kaikista käyttökelpoisin ratkaisu. Parhaan ratkaisun löytämiseksi voidaan eri vaihtoehdoille tehdä arvoanalyysi, jolla saadaan selvitettyä hinta/laatu-suhteeltaan paras vaihtoehto. Arvoanalyysiä käytetään usein asiakastarpeiden määrittämiseen, mutta sillä voidaan myös seuloa tuotekehityksessä ilmenneiden ongelmien ratkaisuvaihtoehdot niiden kustannustehokkuuden mukaan. Tässä vaiheessa on hyvä myös miettiä, voitaisiinko eri ratkaisuvaihtoehtojen hyviä puolia yhdistää ja saada aikaan vielä parempi vaihtoehto. (Hietikko 2015, 107-112.)

Valittujen ratkaisuvaihtojen tulee myös olla sellaisia, että ne voidaan yhdistää osaksi kokonaisuutta, josta lopputuote muodostuu. Tuotekehityksessä käy usein siten, että jokin valittu toteutustapa rajoittaa muiden osa-alueiden osalta käytettävissä olevia mahdollisuuksia. Rajoitteet saattavat ilmetä vasta suunnittelun myöhemmässä vaiheessa, jolloin joudutaan palaamaan suunnittelun aiemmassa vaiheessa pois jääneisiin vaihtoehtoihin. (Hietikko 2015, 109.)

Kehittely

Kun tuotekehitysprojektin luonnosteluvaiheessa on saatu valittua kokonaisratkaisu, joka täyttää sen hetkisen tiedon valossa parhaiten tuotteelle asetetut vaatimukset, aletaan ratkaisun yksityiskohtia suunnitella tarkemmin. Tätä kutsutaan tuotekehityksen kehittelyvaiheeksi. Kehittelyssä tuotteen yksityiskohdat pyritään suunnittelemaan niin valmiiksi, että niiden pohjalta saataisiin valmistettua toimiva tuote. (Jokinen 2001, 89.)

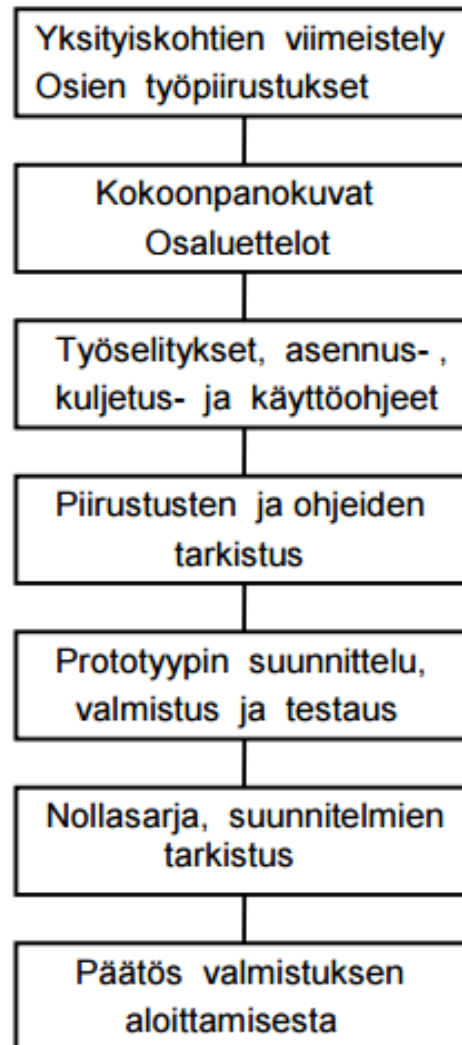
Kehittelyvaiheessa tuotteesta tai jostakin sen osasta voidaan valmistaa toiminnallinen prototyyppi, jolla saadaan parempi käsitys siitä kuinka hyvin toiminnolle asetetut vaatimukset täyttyvät. Prototyypistä voidaan saada tietoa myös asioista, jotka eivät

ole sisältyneet aikaisemmin asetettuihin vaatimuksiin, mutta ovat lopputuotteen kannalta hyödyllisiä. Tällaisia asioita voivat olla muun muassa tuotteen ergonomia ja laatuvaikutelma. (Hietikko 2015, 195-198.)

Tuotekehitysprojektin kehittelyvaiheessa suunnittelussa kannattaa kiinnittää huomiota myös lopputuotteen luotettavuuteen. Luotettavuuden parantaminen on huomattavasti helpompaa ja kustannustehokkaampaa ennen tuotteen siirtymistä viimeistelyvaiheeseen. Tämä johtuu siitä, että mitä pidemmälle tuote on suunniteltu, sitä todennäköisemmin pienetkin muutokset tuotteen jossakin osa-alueessa vaikuttavat toisiin osa-alueisiin. (Jokinen 2001, 89-92; Hietikko 2015, 165.)

Viimeistely

Tuotekehitysprosessin viimeistä työvaihetta ennen valmistukseen siirtymistä kutsutaan viimeistelyksi tai detaljisuunnitteluksi. Nimensä mukaisesti siinä viimeistellään tuotteen eri osat lopulliseen muotoonsa ja niistä tehdään valmistukseen tarvittavat työpiirustukset. Tämän lisäksi viimeistelyssä tehdään lopullinen päätös esimerkiksi käytettävistä raaka-aineista, valmistustavoista sekä pintakäsittelystä. Kuviossa 2 käydään läpi tyypillisiä tuotesuunnittelun viimeistelyyn kuuluvia tehtäviä. (Jokinen 2001, 96-97.)



Kuvio 2. Tuotekehitysprojektin viimeistelyvaiheen tehtäväkulku. (Jokinen 2001, 97.)

Tuotesuunnittelun viimeistelyvaiheessa suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota myös tuotteen valmistettavuuteen DFM- periaatteiden mukaan. DFM on lyhenne sanoista Design For Manufacturing. Sillä tarkoitetaan tuotteen suunnittelua siten, että sen valmistaminen on mahdollisimman helppoa ja kustannustehokasta. Suunnittelu DFM-periaatteiden mukaan voi tarkoittaa koneistettavan kappaleen tapauksessa esimerkiksi sitä, että koneistukseen käytettävien terien määrä ja kappaleen kiinnitykseen käytettävä aika pyritään minimoimaan. Näiden lisäksi koneistettava aihio tulee valita siten että koneistukseen käytettävä aika saadaan mahdollisimman lyhyeksi. Koneaika pystytään lyhentämään myös siten, että tuote suunnitellaan koneistettavaksi mahdollisimman suuren työstöarvon omaavilla terillä. Esimerkiksi pienet pyöristykset

kappaleessa hidastavat koneistusta, sillä niiden koneistaminen vaatii ohuen ja pyöreäpäisen terän jolla ei voi koneistaa yhtä suurilla työstöarvoilla kuin paksummilla terillä. (Hietikko 2015, 165-172; Maaranen 2012, 272-277.)

Mikäli tuotteesta aiotaan valmistaa prototyyppi, on se järkevää valmistaa viimeistään suunnittelun viimeistelyvaiheessa, jotta prototyypin pohjalta ilmenneet parannukset saadaa lisättyä lopulliseen tuotteeseen. (Jokinen 2001, 97.)

4.2 DFMA-suunnitteluperiaate

Valmistuksen huomioiva suunnittelu (DFM, design for manufacturing) on suunnittelumenetelmä, jossa tuotteet pyritään suunnittelemaan siten, että niiden valmistaminen on niin kustannustehokasta kuin mahdollista. DFM on hyvin lähellä kokoonpanon huomioivaa suunnittelua (DFA, design for assembly), mutta siinä missä DFM suunnittelussa keskitytään yksittäisten kappaleiden suunnitteluun, DFA suunnittelussa keskitytään niiden kokoonpantavuuteen. Koska osat liittyvät usein osaksi jotain tuotetta, on tuotteen kokoonpanon helppous erittäin tärkeää valmistuskustannusten kannalta. Valmistuksen ja kokoonpanon huomioivat suunnittelumenetelmät ajatellaan usein kuuluvaksi yhtenäisenä osana tuotesuunnittelua, jolloin puhutaan DFMA-suunnittelusta (designed for manufacturing and assembly).

Olipa kyseessä sitten edullisen kuluttajatuotteen, tai kalliin ja monimutkaisen tuotteen suunnittelu, ovat DFMA-suunnittelumenetelmän hyödyt selviä. Ilman sitä, tuotteesta voi tulla tarpeettoman kallis valmistuksen ja kokoonpanon ongelmien vuoksi. Tämän lisäksi tuotteen saaminen markkinoille saattaa kestää kauemmin kuin on tarpeellista, sillä tuotteeseen voidaan joutua tekemään valmistusta helpottavia muutoksia vielä suunnittelun myöhäisessä vaiheessa. Yleisesti ajatellaan että 70% prosenttia tuotteen valmistuskustannuksista määräytyy tuotteen suunnitteluvaiheessa. (Bogue 2012, 112.)

DFMA-menetelmiä voidaan hyödyntää tuotesuunnittelussa kolmella eri tavalla, jotka poikkeavat toisistaan niin laajuuden kuin käytettävien työkalujen osalta. Ensimmäinen ja helpoin tapa hyödyntää DFMA-menetelmää on seurata erilaisia suunnittelua ohjaavia sääntöjä ja ohjeistuksia, jollaisia on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. DFMA suunnittelun yleiset ohjeet ja saavutettavat hyödyt. (Muokattu kohteesta Bogue 2012, 114.)

Toimenpide	Hyöty
Minimoi osien lukumäärä	<ul style="list-style-type: none"> • luotettavuus paranee • kokoonpano yksinkertaistuu • hankinta- ja varastokustannukset alenevat
Käytä standardiosia	<ul style="list-style-type: none"> • kustannukset alenevat • osien hankinta-ajat lyhenevät • luotettavuus paranee
Minimoi ja yhdenmukaista kiinnikkeiden ja kiinnitysmenetelmien lukumäärä	<ul style="list-style-type: none"> • kustannukset alenevat • kokoonpano yksinkertaistuu • luotettavuus paranee • huolto ja korjaus yksinkertaistuvat
Käytä niin vähän eri materiaaleja kuin mahdollista	<ul style="list-style-type: none"> • liittäminen yksinkertaistuu • valmistusprosessien määrä vähenee
Minimoi herkästi särkyvien osien lukumäärä	<ul style="list-style-type: none"> • kustannukset alenevat • käsittely ja kokoonpano helpottuu
Älä käytä liian tarkkoja toleranssi tai pinnan karheusvaatimuksia	<ul style="list-style-type: none"> • valmistus helpottuu • valmistuskustannukset alenevat
Suunnittele osat helposti valmistettaviksi	<ul style="list-style-type: none"> • kustannukset alenevat, kun kiinnitys- ja työkalukustannukset pienenevät
Hyödynnä modulaarisia ratkaisuja	<ul style="list-style-type: none"> • kustannukset alenevat, koska kokoonpano ja testaus helpottuu
Pyri suunnittelemaan tuote niin että kokoonpanon virheet saadaan minimoitua	<ul style="list-style-type: none"> • kustannukset alenevat, koska kokoonpanoja ei tarvitse tehdä uudelleen
Suunnittele tuote siten että kappaleiden asemointi ja käsittely on helppoa	<ul style="list-style-type: none"> • kustannukset alenevat, kun kokoonpanoaika lyhenee ja erikoiskiinnikkeiden määrä vähenee
Suunnittele tiedettyjä kokoonpanomenetelmiä silmällä pitäen	<ul style="list-style-type: none"> • kustannukset alenevat, kun hyödynnetään tunnettuja, hyväksi havaittuja menetelmiä
Harkitse automatisoitua kokoonpanoa	<ul style="list-style-type: none"> • kustannukset ovat mahdollisesti pienemmät kuin manuaalisen kokoonpanon kustannukset

Nämä ohjeistukset eivät ole kvantitatiivisia, vaan ne vaativat suunnittelijalta tulkintaa ja soveltamista jokaiseen erilliseen suunnittelukohteeseen. Ohjeistukset ovat tarkoituksella epämääräisiä, sillä niitä tulee pystyä soveltamaan laajasti erilaisiin tuotteisiin, valmistusprosesseihin ja materiaaleihin. Kullekin tuotteelle ja prosessille voidaan luoda myös tarkempia suunnitteluohjeistuksia ja sääntöjä.

Toinen tapa hyödyntää DFMA-menetelmää on tuotteen rakenteen kvantitatiivinen arviointi. Jokainen osa tuotteen suunnittelusta arvotetaan sen kokoonpantavuuden mukaan. Arvot summataan yhteen koko suunnittelun osalta ja saatua arvoa käytetään määrittämään suunnittelun kokonaislaatua. Tuote suunnitellaan tämän jälkeen uudelleen hyödyntäen aiemmin saatuja arvoja, keskittyen erityisesti sellaisiin tuotteen osiin, joilla on suurin merkitys kokonaisarvoon. Tämä menetelmä vaatii suunnittelijalta tarkkaa tietämystä tuotteesta ja käytetyistä valmistusmenetelmistä.

Kolmas ja uusin tapa parantaa tuotteen valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta hyödyntää tietokoneella tehtävää kvantitatiivista kokoonpanon analyysia. Analyysissä tuotteen rakennetta optimoidaan soveltamalla siihen suunnittelua ohjaavia sääntöjä ja arvottamalla lopputulosta eri kriteereiden mukaan. (Bogue 2012, 113-114.)

4.3 Tulosten suojaaminen

Mikäli tuotetta kehitettäessä on saatu aikaiseksi jokin uusi keksintö, on keksintö mahdollista suojata siten, että muut eivät voi hyödyntää sitä kaupallisesti. Suojaamisessa oleellista on se, että keksintö on uusi, eikä sitä ole aikaisemmin julkaistu. Mikäli keksintö eroaa olennaisesti aiemmin tunnetusta, voidaan se suojata patentoimalla. Patentti ei kuitenkaan ole ainoa mahdollinen suojausmenetelmä, sillä esimerkiksi mallisuojaalla voidaan suojata tuotteen ulkomuoto sekä tavaramerkkisuojaalla voidaan suojata tuotteen tunnus tai logo. Elektroniikkaosille voidaan myös hakea integroidun piirin mallisuoja. Myös taiteelliselle kehitystyölle on olemassa omat suojausmenetelmät.

Tuotteelle haettavien mallisuojiin kustannukset ja voimassaoloajat vaihtelevat suojausmenetelmän mukaan. Patenttisuoja on voimassa, niissä maissa missä se on ha-

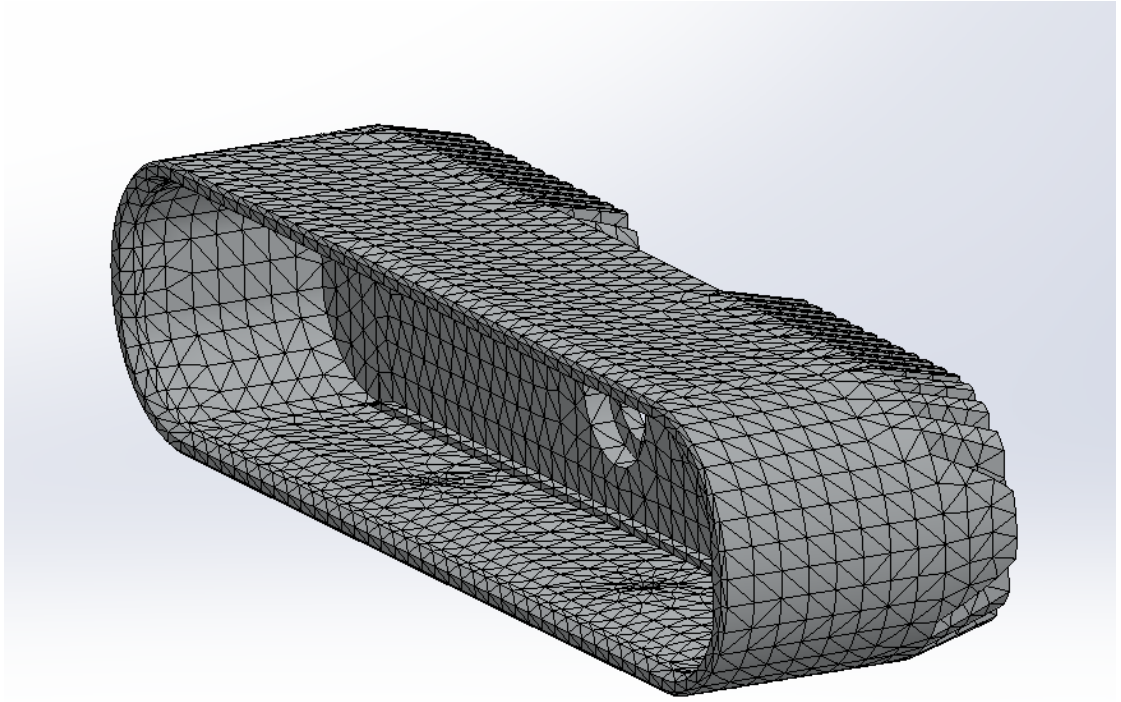
ettu ja saatu, enimmillään 20 vuotta (Patentti- ja rekisterihallitus). Keksinnön patenttoiminen on kuitenkin melko kallista. Opinnäytetyön tekohetkellä Suomessa voimassa olevan patentin hakeminen voi maksaa patentin laajuudesta ja tarvittavista selvityksistä riippuen tuhansia euroja. Tämän lisäksi patentista maksetaan vuotuinen ylläpitomaksu, joka kasvaa patentin voimassaoloajan mukaan. Ensimmäiseltä kolmelta vuodelta maksu on yhteensä 200 euroa, mutta se nousee niin, että viimeisenä voimassaolovuotenaan maksu on 900 euron suuruinen. (Patentti- ja rekisterihallitus 2016)

5 Tietokoneavusteinen suunnittelu

CAD/CAM-suunnittelu on tullut kiinteäksi osaksi nykypäiväistä tuotesuunnittelua ja tuotteen valmistusta. Tietokoneavusteisella suunnittelulla saavutetaan etua aikaisemmin käytettyihin menetelmiin verrattuna muun muassa paremman tarkkuuden, lyhyempien suunnitteluajkojen sekä matalampien kustannusten kautta. CAD-ohjelmistoja voidaan käyttää myös tuotteen kestävyiden, toiminnan, valmistuksen ja kokoonpanon mallintamiseen, jolloin mahdollisiin ongelmiin voidaan puuttua ennen varsinaisen tuotteen valmistamista. CAM-ohjelmistoilla voidaan tuottaa CAD-mallista automaattisesti myös tuotteen valmistuksessa mahdollisesti tarvittavat CNC-työstöohjelmat. Tämän ansiosta tuotannossa tapahtuvien virheiden mahdollisuutta saadaan pienennettyä. (Pathak ym. 2014, 146-148.)

5.1 FEM-laskenta

Tietokoneella tehtävää lujuuslaskentaa kutsutaan FEM-laskennaksi tai elementtimenetelmäksi. Lyhenne FEM tulee sanoista finite element method. FEM-laskennassa tarkasteltava rakenne jaetaan pienempiin osiin eli elementteihin, jotka ovat kytketty toisiinsa solmupisteissä (ks. kuvio 3). (Hietikko 2013, 169-170.)



Kuvio 3. Valaisimen ulkokotelon elementtimalli.

Elementtimalli voidaan ajatella jousien muodostamaksi systeemiksi, jossa kutakin elementtiä kuvaa jousi. Kun malliin kohdistuu voima, muuttavat jouset muotoaan, kunnes systeemi on tasapainossa. Rakenteen jokaista elementtiä kohden voidaan kirjoittaa tasapainoyhtälöt, jotka yhdistyvät solmupisteissä. Rakenteen kuormitusten ratkaiseminen edellyttää usein tuhansien tasapainoyhtälöiden ratkaisemista, joten menetelmä soveltuu erityisen hyvin tietokoneella tehtäväksi. Elementtimenetelmää voidaan hyödyntää lujuuslaskennan lisäksi myös esimerkiksi värähtelymekaniikan, nesteiden dynamiikan sekä lämmönjohtumisen simuloimiseen. (Hietikko 2013, 169-170.)

5.2 Tietokoneavusteinen virtaussimulaatio

Nesteiden virtaussimulaatiosta käytetään yleisesti lyhennettä CFD (Computational Fluid Dynamics). CFD-simulointi on FEM-laskennan erikoissovellus, jolla pystytään selvittämään nesteiden ja kaasujen virtausta kappaleen ympärillä tai sen sisäpuolella.

CFD-simulaatiolla voidaan tutkia sekä kokoonpuristumattomien aineiden, kuten nesteiden, että kokoonpuristuvien aineiden virtausta. Menetelmä soveltuu myös lämmönjohtumisen ja kappaleen jäähdytyksen simulointiin. (Zienkiewicz ym. 2005, 1-26.)

6 Tutkitut valmistusmenetelmät

Työssä tutkittiin pienkappaletuotantoon soveltuvia valmistusmenetelmiä. Tutkittujen tuotantomenetelmien tuli soveltua useille erilaisille materiaaleille, jotta valittu valmistusmenetelmä ei rajaa tuotteen suunnittelua liikaa. Lisäksi valmistusmenetelmien piti olla hyödynnettävissä niin ensimmäisen, noin 50 kappaleen tuotantoerän, kuin myöhemmin mahdollisesti valmistettavien suurempien valmistuserien osalta. Työssä tutkittuja valmistusmenetelmiä olivat valaminen, suulakepuristus ja jyrsiminen. Näihin valmistusmenetelmiin päädyttiin siitä syystä, että ne soveltuvat sekä muoveille että monille tuotteen valmistukseen soveltuville metalleille. Tämän lisäksi näillä valmistusmenetelmillä on mahdollista saavuttaa tarvittavat tarkkuus- ja pinnanlaatuvaatimukset.

Näiden valmistusmenetelmien lisäksi työssä tutkittiin ainetta lisäävien valmistusmenetelmien soveltuvuutta prototyyppin valmistukseen.

6.1 Valaminen

Valaminen on valmistusmenetelmä, jossa valumuottiin aikaansaatu tuotteen muotoa vastaava tyhjä tila täytetään sulalla metallilla. Jähmettyessään metalli muodostaa halutun muotoisen kiinteän kappaleen. Valamalla saadaan aikaiseksi tuotteita, jotka ovat joko lopullisessa muodossaan, tai vaativat vain vähäistä jälkikäsittelyä. Valaminen ei aseta juurikaan rajoitteita valmistettavan kappaleen muodolle eikä koolle ja se soveltuu käytettäväksi lähes kaikille metalleille. Myös monia muoveja voidaan valaa. (Aaltonen ym. 2002, 66.)

Valamisessa käytettävät muotit voidaan jakaa kertamuotteihin ja kestromuotteihin. Kertamuotit hajotetaan valukappaleen ympäriltä, jotta tuote saadaan poistettua muotista. Tästä syystä jokaiselle valettavalle kappaleelle on valmistettava oma muotinsa. Kertamuotit valmistetaan yleisesti tarkoitukseen soveltuvasta hiekasta, jonka

muottiominaisuuksia voidaan parantaa erinäisillä sidosaineilla. Kertamuotti voidaan valmistaa myös kipsistä tai keraamista. Kestomuotit suunnitellaan sellaisiksi, että ne pystytään avaamaan, jolloin valettu kappale saadaan poistettua muotista sitä särkemättä. Tämä asettaa hieman rajoitteita valettavan kappaleen muodolle, sillä kappaleen niillä pinnoilla, jotka liukuvat muotin pinnalla kappaleen irrotuksessa, on oltava viistettä eli päästöä. Päästöt on otettava huomioon valettavaa tuotetta suunniteltaessa, jonka johdosta kestopuotilla suoritettava valmistus rajaa tuotteen muotoa enemmän kuin kertamuottiin valaminen. Kestomuotit valmistetaan useimmiten metallista, jonka sulamislämpötila on korkeampi kuin valettavan materiaalin. Kestomuotit voivat kestää jopa 50 000 valua. (Aaltonen ym. 2002, 66-89.)

Erilaisten valumenetelmien suuren määrän johdosta työssä päätettiin tutkia tarkemmin tarkkuusvalu- ja painevalumenetelmiä. Nämä menetelmät valikoituivat tutkimuksen kohteiksi siitä syystä, että niillä pystytään saavuttamaan hyvä muototarkkuus ja pinnanlaatu. Näitä menetelmiä tutkimalla saadaan myös kattava kuva erilaisten valumenetelmien soveltuvuudesta tuotantoon, sillä tarkkuusvalu on kertamuottimenetelmä ja painevalu on kestopuottimenetelmä. (Aaltonen ym. 2002, 87-91.)

Tarkkuusvalussa valumuotti valmistetaan yleensä vahamallia hyödyntäen. Muotin valmistuksessa vahamalli kastetaan muotin ainesosat sisältävään liuokseen, jolloin vahamuotin pintaan saadaan muodostettua kova kerros. Vahamallia kastetaan liuokseen useita kertoja ja vahamallin pintaan tarttuneen liuoksen annetaan kuivua kastokertojen välillä. Kun vahamallin pintaan on saatu muodostettua niin paksu kerros muottimateriaalia, että se kestää valamisen aiheuttamat rasitukset, sulatetaan vahamalli muotin sisältä pois. Vahamallin sulaessa muottiin jääneeseen tyhjiin tilaan voidaan valaa tuote halutusta materiaalista. Vahamallit valmistetaan tavallisesti valamalla vahaa metallista valmistettuun muottiin, jonka johdosta menetelmä ei yleensä ole taloudellisesti kannattava pienillä valmistuserillä. Ainetta lisäävien valmistusmenetelmien kehittyminen on kuitenkin avannut mahdollisuuksia valumallin valmistamiseen 3D-tulostamalla. Tämä on mahdollistanut valumallin valmistamisen ilman erillistä metallista valmistettua valumallimuottia, jolloin menetelmän aloituskustannuk-

set saadaan pidettyä alhaisempina. Tämän johdosta tarkkuusvalusta on tullut houkutteleva valmistusmenetelmä myös pienempien valmistuserien kohdalla. (Aaltonen ym. 2002, 87; Riihimäki 2016, 47-51.)

Painevalu on kestopuottimenetelmä, jossa kuuma valettava aine johdetaan valumuottiin painetta hyödyntäen. Painevalumuotti on yleisimmin valmistettu metallista ja se koostuu kahdesta tai useammasta osasta, koska rakenteen täytyy mahdollistaa muotin avaaminen kappaleen poistamiseksi muotista. Valumuotin monimutkaisen rakenteen aikaansaamien suurten valmistuskustannusten johdosta painevalu ei ole kannattavaa pienillä valmistuserillä. Menetelmän edut tulevat esiin suurten tuotantoerien kohdalla, jolloin sen nopeus ja tarkkuus tekevät siitä houkuttelevan. (Aaltonen ym. 2002, 89-91.)

6.2 Suulakepuristus

Suulakepuristus on yksi tankopuristuksen muoto, jota käytetään yleisesti kylmämuovattavien metallien ja muovien valmistukseen. Suulakepuristuksessa muovattava materiaali puristetaan joko kylmänä tai esilämmitettynä työkalussa olevan reiän läpi (ks. kuvio 4). Reikä on muotoilu siten, että työkalusta tulee ulos halutun muotoista putkimaista profiilia. (Aaltonen ym. 2002, 349.)



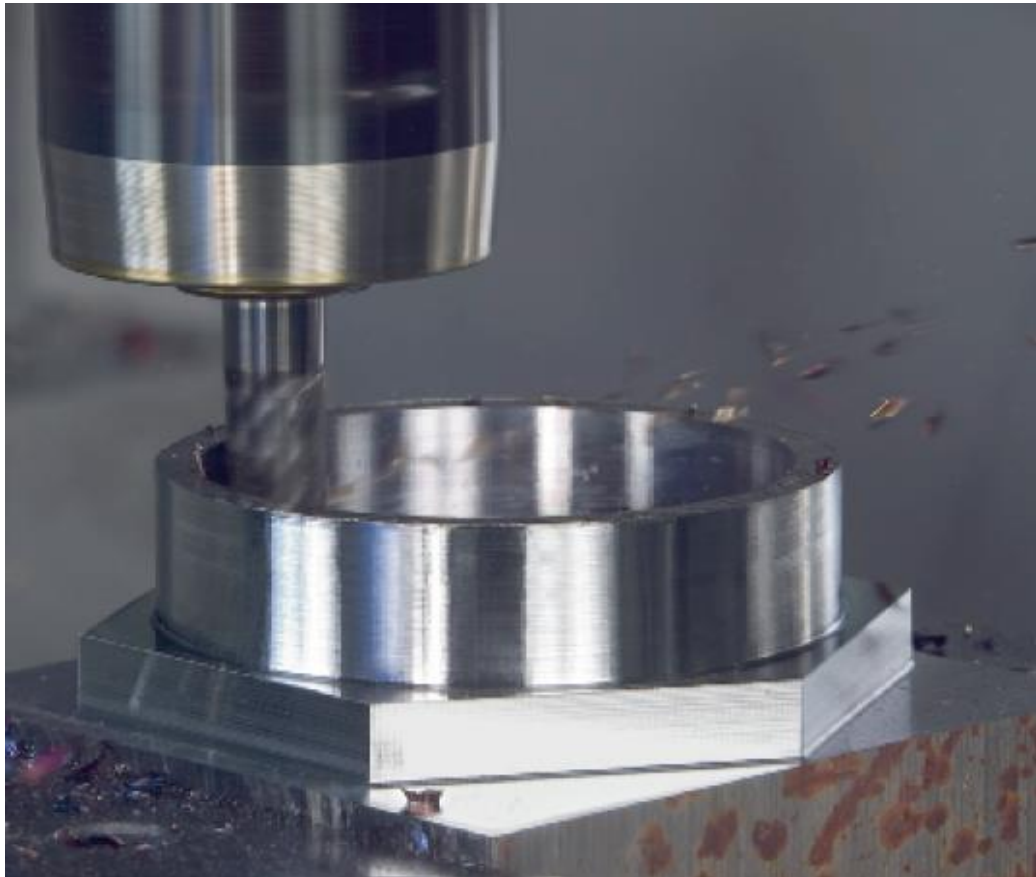
Kuvio 4. Suulakepuristuksen havainnekuva. (Profiilisuunnittelun käsikirja 2016)

Suulakepuristamalla valmistetut profiilit jaotellaan usein avonaisiin ja onttoihin profiileihin. Onttojen ja avonaisten profiilien valmistukseen käytettävät muotit poikkeavat toisistaan, onttoihin käytettävän muotin rakenteen ollessa monimutkaisempi. Tämän johdosta onttojen profiileiden valmistuksen aloituskustannukset ovat hieman korkeammat. Menetelmän hyötyinä moniin muihin valmistusmenetelmiin nähden voidaan pitää sitä, että yhdellä työvaiheella saadaan aikaan tuoteaihio, joka on poikkipinnan muodoltaan lähellä valmistettavaa tuotetta. Tällä saavutetaan taloudellista hyötyä lyhempien koneistusaikojen ja pienempien koneistuskustannusten kautta. Näiden seikkojen lisäksi myös materiaalihävikki vähenee. (Aaltonen ym. 2002, 349-55; Teknologiateollisuus 2006, 46-47.)

Valmistuslaitteistosta riippuen suulakepuristamalla voidaan valmistaa profiilia, jonka poikkileikkaus on suurimmillaan 400-900 mm. Profiilit voidaan suunnitella myös siten, että pienempiä profiileja yhdistämällä saadaan aikaiseksi tätä suurempaa profiilia. Näin toimien profiilirakenteella ei käytännössä ole enimmäiskokoa. Suuria profiileita käytetään esimerkiksi rautatievaunujen valmistuksessa. (Teknologiateollisuus 2006, 49.)

6.3 Jyrsiminen

Jyrsiminen on yksi lastuavan työstön muoto. Lastuavaksi työstöksi kutsutaan sellaisia valmistusmenetelmiä, joissa materiaaliaihiosta irrotetaan ainetta plastisen muodonmuutoksen avulla. Lastuamisessa työstettävää materiaalia huomattavasti kovempi terä tunkeutuu materiaaliin ja leikkaa siitä ainetta pois (ks. kuvio 5). Jyrsintä soveltuu muun muassa tasomaisten ja kaarevien pintojen sekä urien valmistukseen. Lastuamisen korkeiden kustannusten vuoksi sitä on pyritty vähentämään tarkempien aihionvalmistusmenetelmien avulla. Lastuamalla aikaansaadun erinomaisen mittatarkkuuden ja pinnanlaadun johdosta se on kuitenkin säilynyt tärkeimpänä työstömenetelmänä. Jyrsimisen lisäksi muita lastuavia työstömenetelmiä ovat muun muassa sorvaaminen, poraaminen, sahaaminen ja hiominen. (Aaltonen ym. 2002, 139-140; Maaranen 2016, 243.)



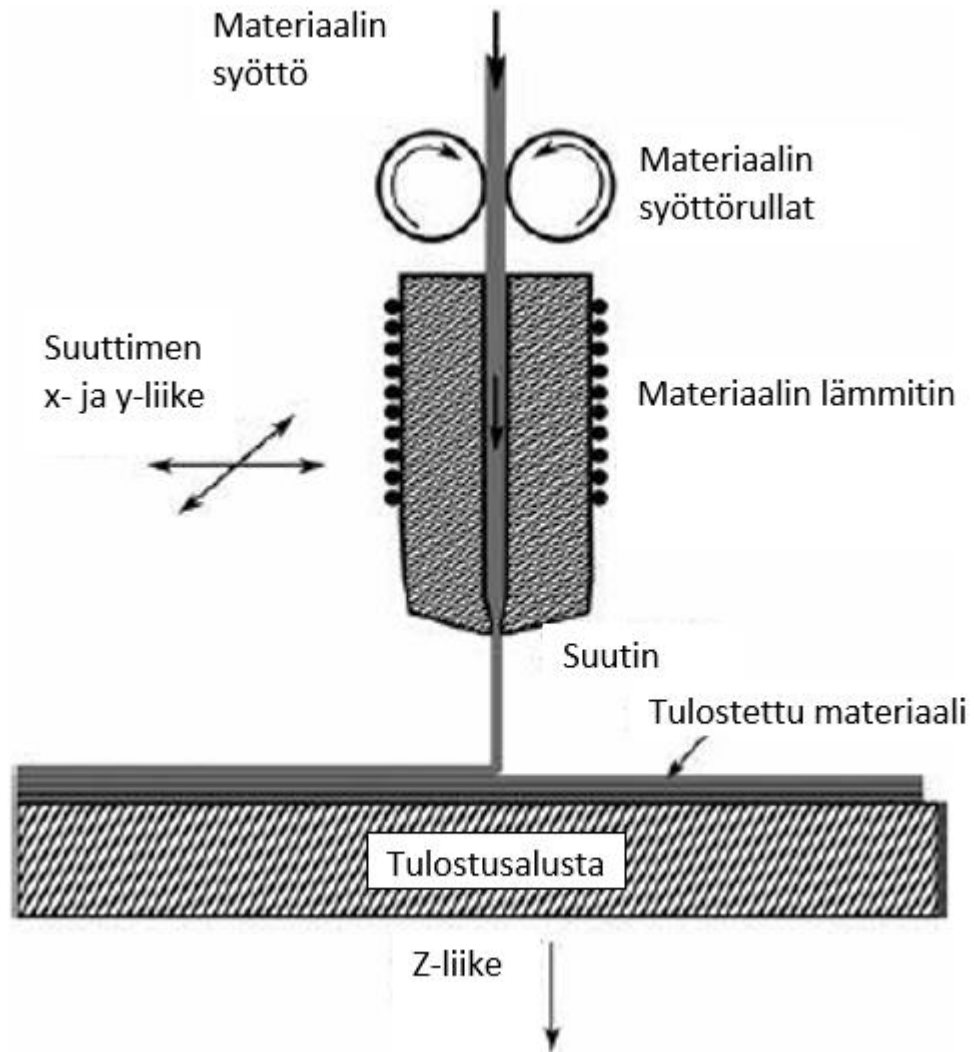
Kuvio 5. koneistuksen havainnekuva. (Sandvik Oy 2008.)

Jyrsimisessä työkalu pyörii akselinsa ympäri ja syöttöliikkeen suunta on normaalisti terän akseliin nähden kohtisuorassa. Monilla jyrsinterillä voidaan koneistaa myös terän akselin suuntaisesti, jolloin kappaletta voidaan porata tai tehdä siihen upotuksia. Nykyaikaiset koneistuskeskukset ovat numeerisesti ohjattuja ja työkalun vaihto tapahtuu niissä automaattisesti. Tämän ansiosta kappaleeseen voidaan koneistaa hyvin monimutkaisia muotoja jotka vaativat useita työvaiheita ilman että koneenkäyttäjän tarvitsee puuttua koneen toimintaan. Jyrsinnällä voidaan saavuttaa tuotteita, joiden mittatarkkuus täyttää IT5 toleranssin vaatimukset ja pinnanlaaduksi voidaan saada jopa $R_a = 1 \mu\text{m}$. Tällaisten tarkkusvaatimusten täyttäminen on erittäin vaikeaa muilla kuin lastuavilla valmistusmenetelmillä. (Aaltonen ym. 2002, 163-171; Maaranen 2016, 246-247.)

6.4 Ainetta lisäävät valmistusmenetelmät

Ainetta lisääviä valmistusmenetelmiä kutsutaan usein 3D-tulostamiseksi, AM-menetelmäksi tai pikamallinnukseksi. 3D-tulostaminen on lisännyt merkittävästi suosiotaan teollisuudessa viimeisinä vuosikymmeninä. Tulostamalla pystytään nykyään valmistamaan niin tuotteiden prototyypejä kuin valmiita tuotteita tai niiden osia. (Turner & Gold 2014, 192.)

Yleisin ainetta lisäävä valmistusmenetelmä on niin kutsuttu FDM-menetelmä (fused deposition method), jossa esilämmitettyä materiaalia pursotetaan kerroksittain pienireikäisen suuttimen läpi (ks. kuvio 6). Tulostuslämpötilaan lämmitetty materiaali hitsaantuu pursotettaessa alempiin kerroksiin, saaden aikaan yhtenäistä materiaalia. FDM menetelmää käytetään yleisimmin amorfisten aineiden tulostamiseen, sillä menetelmän onnistumisen kannalta on tärkeää, että aineen viskositeetti saadaan sopivaksi lämpötilaa muuttamalla. Viskositeetti ei saa olla liian suuri, sillä silloin aineen pursottamiseen vaadittava voima kasvaa liian suureksi. Liian matala viskositeetti aiheuttaa sen, että tulostettava materiaali ei kovetu riittävän nopeasti suuttimesta ulos tullessaan, jolloin tulostettavan tuotteen tarkkuus kärsii. (Turner & Gold 2014, 194.)



Kuvio 6. FDM-menetelmän toimintaperiaate. (Muokattu lähteestä Turner & Gold 2015, 251.)

Amorfisilla aineilla ei ole selvää sulamispistettä, vaan niiden kohdalla käytetään lasisiirtymälämpötilaa, jonka yläpuolella materiaalin molekyyliketjut pääsevät liikkumaan toisiinsa nähden. Lasisiirtymälämpötilan yläpuolella materiaalin viskositeetti muuttuu ja siitä tulee juoksevaa. Pursotettavan materiaalin tulostuslämpötila on aina materiaalin lasisiirtymälämpötilan yläpuolella, mutta siihen vaikuttavat monet muut tekijät, kuten käytettävän tulostimen jäähdytys ja materiaalin lisäaineistus. (Lähteenmäki 2015; Turner & Gold 2014, 198.)

7 Alumiinin pintakäsittelymenetelmät

Alumiinin potentiaalisia käyttökohteita sellaiset ovat rakenteet, joissa voidaan hyödyntää alumiinimetallin ominaisuuksia, kuten keveyttä, lujuutta ja helppoa työstettävyyttä. Alumiinin kulutuskestävyys on kuitenkin heikompi kuin mitä monella muulla metallilla, minkä johdosta tuote on altis naarmuuntumiselle ja sitä kautta korroosiolle. Alumiinin pintaominaisuuksia, kuten kulumisenkestävyyttä ja kemiallista kestävyyttä voidaan kuitenkin parantaa erilaisilla pintakäsittely- ja pinnoitusmenetelmillä. Yleisesti käytössä olevia pintakäsittelymenetelmiä ovat muun muassa anodisointi- ja kromatointimenetelmät sekä maalaaminen. (Lahtinen ym. 7.)

Tässä työssä keskitytään erityisesti anodisointiin, sillä sen katsottiin olevan käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuva pintakäsittelymenetelmä helpon saatavuutensa ja laajemman värivalikoiman ansiosta. Anodisointi myös suojaa tuotetta naarmuuntumiselta huomattavasti paremmin kuin kromatointi.

7.1 Anodisointi

Anodisointi on sähkökemiallinen metallin pintakäsittelymenetelmä, jolla tuotteen pintaan saadaan vahvistettua alumiinin pintaan luonnollisesti syntyvää oksidikerrosta. Anodisoinnilla aikaansaadun oksidikerroksen paksuus voidaan säätää käyttötarkoituksen mukaan anodisointiprosessia (ks. taulukko 2) muuttamalla. Sisäkäyttöön suunnitellun kappaleen oksidikerroksen paksuutena käytetään yleisesti noin 10 µm paksuutta ja ulkokäyttöön noin 25 µm paksuutta. Oksidikerros on myös erittäin kovaa, sillä sen kovuus Mohsin asteikolla on 9, puhtaan alumiinin kovuuden ollessa 2,75. Oksidikerros suojaa tuotetta sekä korroosiolta että mekaaniselta kulumiselta. Anodisointia voidaan käyttää myös tuotteen värjäämiseen monilla eri väreillä ja menetelmillä. Anodisointia käytetään yleisimmin alumiinin pintakäsittelyyn, mutta myös joitain muita metalleja voidaan anodisoida. (Teknologiateollisuus 2006, 132-140; Wikipedia, alumiinit; Sorsa 2015, 96.)

Taulukko 2. Anodisoinnin työvaiheet. (Muokattu lähteestä Teknologiateollisuus 2006, 130-140.)

Työvaihe	Kuvaus
Rasvanpoisto	Työvaiheen tarkoitus on poistaa tuotteen pinnalta aikaisemmissa työvaiheissa siihen jääneet rasvajäämät, kuten leikkuuneste ja sormenjäljet
Peittaus	Peittauksessa tuotteen pinnalta poistetaan kemiallisesti siihen muodostunut luonnollinen oksidikerros. Peittaus tehdään tavallisin NaOH (lipeä) liuoksella
Neutralointi	Neutraloinnissa tuotteen pinnalta poistetaan siihen jääneet alumiinin seosaineet, jotka eivät ole lienneet peittauksessa
Anodisointi	Anodisointi on sähkökemiallinen prosessi, jolla alumiinin pintaan muodostetaan alumiinioksidikerros (Al_2O_3) Anodisoinnissa kappale on upotettuna elektrolyyttiliuokseen (useimmiten laimennettu rikkihappo), jossa se toimii anodina. Samaa liuoksen on upotettu myös toinen alumiinikappale, joka toimii katodina. Kappaleisiin johdetaan tasavirtaa, jolloin alumiini anodin pinnalla muuttuu alumiinioksidiksi ja katodista vapautuu vetyä
Värjäys	Mikäli tuote halutaan värjätä anodisoinnin yhteydessä, on se tehtävä anodisointia seuraavassa työvaiheessa. Tuotteen värjäykseen voidaan käyttää useita erilaisia väriaineita ja värjäysmenetelmiä. Värjäyksessä tuote upotetaan heti anodisoinnin jälkeen väriainekylpyyn, jolloin väriaine saadaan oksidikerroksen huokosiin. Tätä menetelmää kutsutaan kemialliseksi kastovärjäykseksi
Tiivistys	Anodisoinnin viimeinen työvaihe on tiivistys, jossa alumiinioksidikerroksen huokokset saadaan sulkeutumaan. Tiivistys tapahtuu upottamalla anodisoitu kappale kiehuvaan veteen. Parhaan tiivistyksen aikaansaamiseksi veden lämpötilan tulee olla vähintään 96°C . Tiivistyksen laatu on erittäin tärkeä oksidikerroksen korroosiokestävyydelle

7.1.1 Värjäysmenetelmät

Anodisoidun alumiinin värjäämiseen on olemassa useita erilaisia värjäysmenetelmiä, jotka vaihtelevat käytetyn prosessin, sekä käytettävissä olevien värien ja väriaineiden osalta. Teollisuudessa yleisesti käytettyjä värjäysmenetelmiä ovat epäorgaaninen kastovärjäys, orgaaninen kastovärjäys, integraalivärjäys sekä sähköinen vaihtovirtavärjäys. (Teknologiateollisuus 2006, 136.)

Epäorgaaninen ja orgaaninen kastovärjäys eroavat toisistaan lähinnä käytettävän väriaineen koostumuksen osalta. Epäorgaanisessa kastovärjäyksessä väriaineet ovat metallisuolaliuoksia, kun taas orgaanisessa kastovärjäyksessä väriaineet ovat veteen liotettuja orgaanisia väriaineita. Molemmissa menetelmissä tuotetta kastetaan anodisoinnin jälkeen väriaineliuoksessa, eikä prosessia vahvisteta sähkövirralla. Kastovärjäyksessä väriaine jää oksidikerroksen huokosiin lähelle pintaa. Kastamisen jälkeen kappaleen pinnan huokokset suljetaan tiivistysprosessissa. (Teknologiateollisuus 2006, 136.)

Integraalivärjäys poikkeaa muista värjäysmenetelmistä siltä osin, että se suoritetaan samaan aikaan anodisoinnin kanssa, vaihtovirran avulla. Integraalivärjäyksessä väriaine saostuu suoraan oksidikerrokseen, jolloin värjätystä pinnasta tulee erittäin kova ja säänkestävä. Integraalivärjäys ei sovellu kaikille alumiinilaaduille ja se on kalliimpi kuin muut menetelmät. (Teknologiateollisuus 2006, 137.)

Sähköisessä vaihtovirtavärjäyksessä metallinen väriaine saostetaan kappaleen oksidihuokosten pohjalle vaihtovirtaa hyödyntäen. Sähkövärjäys suoritetaan kappaleen anodisoinnin jälkeen. Sähkövärjäyksellä aikaansaatu väriainekerros ei ole yhtä kovaa kuin integraalivärjäyksellä aikaansaatu. Menetelmä soveltuu kuitenkin kaikille alumiinilaaduille ja sen kustannukset ovat pienemmät kuin integraalivärjäyksellä, joten menetelmää käytetään teollisuudessa laajalti. (Teknologiateollisuus 2006, 137.)

8 Opinnäytetyön toteuttaminen ja tulokset

Tämä työ on luonteeltaan kehittämistyö, jonka päämääränä on kehittää myyntiin valmis erikoisvaatimukset täyttävä valaisin.

Työn toteutuksessa on käytetty tuotekehitysmallia, joka koostuu neljästä tuotekehityksen vaiheesta. Nämä vaiheet ovat tuotekehitysprojektin käynnistäminen, tuotteen luonnostelu, tuotteen kehittäminen ja viimeistely. Malli voidaan nähdä perinteisenä perättäismallina, jossa edellinen vaihe pyritään saattamaan valmiiksi ennen siirtymistä seuraavaan vaiheeseen. Eri vaiheissa on käytetty tuotekehityksen työkaluja, jotka soveltuvat kyseiseen vaiheeseen. Tällaisia työkaluja ovat muun muassa projektin tavoitteiden abstrahointi eli yleistäminen, vaatimuslistan tekeminen sekä prototyyppien valmistus.

Abstrahoinnilla tarkoitetaan projektin tavoitteiden esittämistä niin pelkistetyssä muodossa, että se jättää toteuttamistavan täysin auki. Tavoitteiden ja ongelmien esittäminen yleistettynä on käyttökelpoinen menetelmä varsinkin projektin alkuvaiheissa, sillä menetelmällä pystytään löytämään totutusta poikkeavia ratkaisuja projektin toteutukseen. Tämän opinnäytetyön tavoitteiden abstrahointina käytettiin virkettä

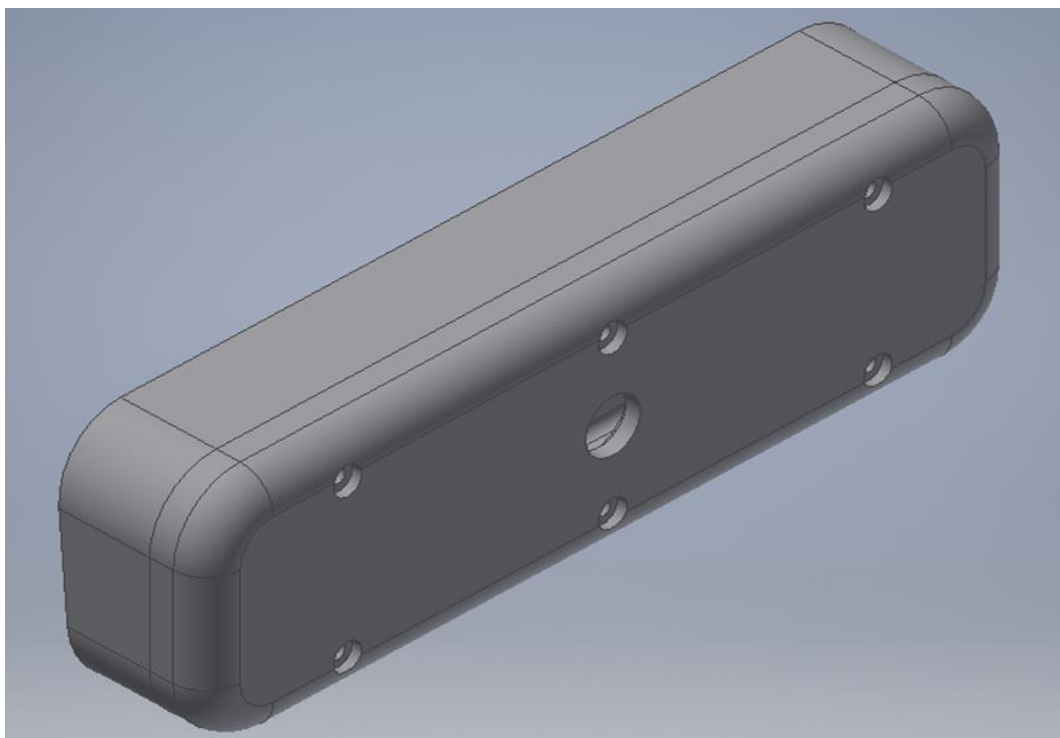
Valaisimen elektroniikan suojaamisen, lämpötilan hallinnan ja kiinnittämisen ratkaiseminen.

Vaatimuslistassa on eritelty tuotteelle asetetut vaatimukset ja toivomukset selkeinä, yksityiskohtaisina määreinä. Vaatimukset ovat sellaisia määreitä, jotka tuotteen tulee täyttää kaikissa tilanteissa. Vaatimukset on myös syytä esittää tarkasti määritettynä arvona, jolloin niiden täytyminen pystytään toteamaan. Mikäli jokin vaatimus ei täyty, johtaa se automaattisesti kyseisen ratkaisun hylkäämiseen. Toivomukset eivät ole yhtä rajaavia ominaisuuksia kuin vaatimukset, vaan niiden kohdalla voidaan pohdita, esimerkiksi kustannusten kannalta, onko niiden täyttäminen järkevää. Toivomukset voidaan lisäksi jakaa niiden tärkeyden mukaan erittäin tärkeisiin, tärkeisiin ja vähemmän tärkeisiin ominaisuuksiin.

Prototyyppi on tuotteesta tai jostakin sen osasta tehty testiversio, jota voidaan käyttää toiminnallisuuden, ulkonäön tai jonkin ominaisuuden toteamiseen ja varmistamiseen. Prototyyppi voi olla kooltaan lopullista tuotetta vastaava tai johonkin mittakaavaan tehty. Prototyyppejä hyödynnetään yleisesti tuotekehityksen kehittä- ja viimeistelyvaiheessa. Tässä työssä prototyyppejä hyödynnettiin laajasti muun muassa kehitettävän tuotteen toiminnallisuuden ja ergonomian arvioinnissa.

8.1 Kotelorakenne ja sen kehitysversiot

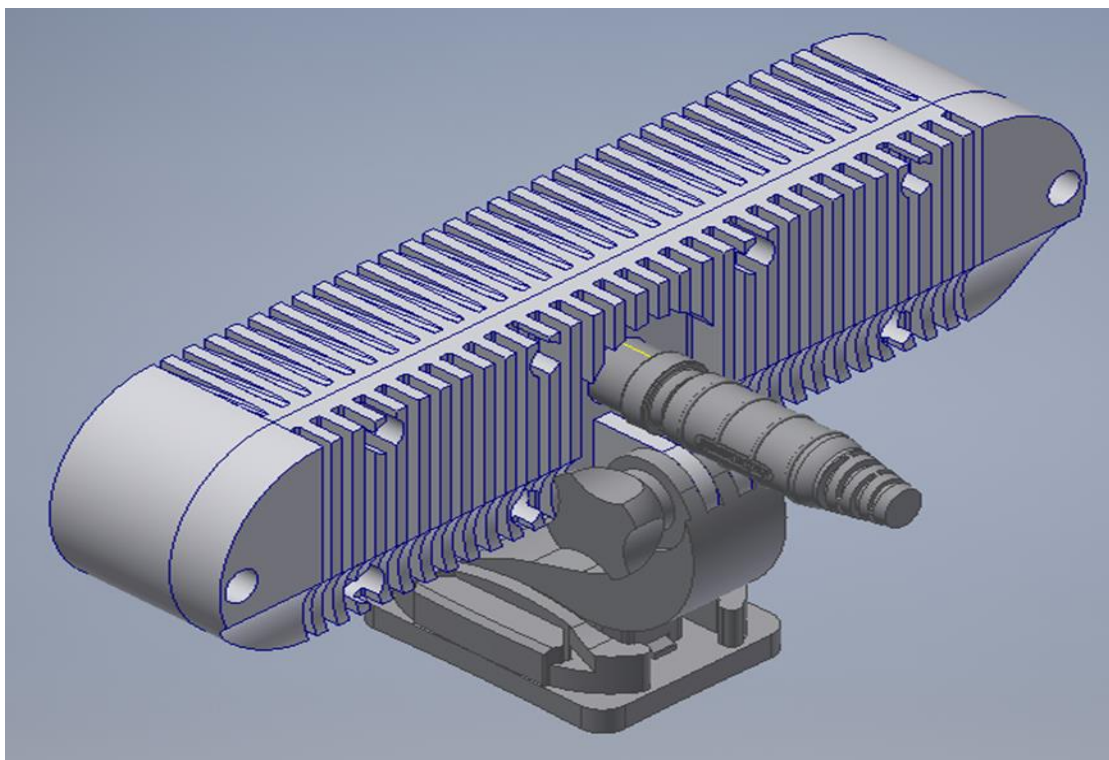
Opinnäytetyön aluksi työn toimeksiantaja toimitti valaisimen elektroniikkapiirin CAD-tiedoston sekä mittapiirustuksen. Työn aloituspalaverissa käytiin läpi työn tilaajan toiveita ja valaisimen mekaanisia rajoitteita. Valaisimen rungon mekaniikkasuunnittelu aloitettiin näiden tietojen pohjalta. Aluksi suunniteltiin raakamalli rungosta (ks. kuvio 7), jossa ei vielä otettu huomioon kotelon vesitiivistämistä eikä kiinnitystä kypäaraan.



Kuvio 7. Kotelorakenteen ensimmäinen kehitysversio.

Ensimmäisen prototyypin perusteella päädyttiin siihen, että kotelon kokonaiskorkeutta pienennetään niin paljon kuin mahdollista. Kotelon madaltamisesta on hyötyä valaisimen massan kannalta ja sillä pyritään minimoimaan mahdollisuutta kotelon takertumiseen esimerkiksi oksiin. Matalammalla kotelolla kypärän, johon valaisin on kiinnitetty, painopiste saadaan pysymään alempana. Enduroa ajettaessa tällä on suuri merkitys niskaan kohdistuvaan rasitukseen. Lisäksi joihinkin kypärämalleihin matala kotelo saadaan kiinnitettyä visiirin alapuolelle, jolloin valaisimen takertumisen mahdollisuus esteisiin saadaan lähes eliminoitu.

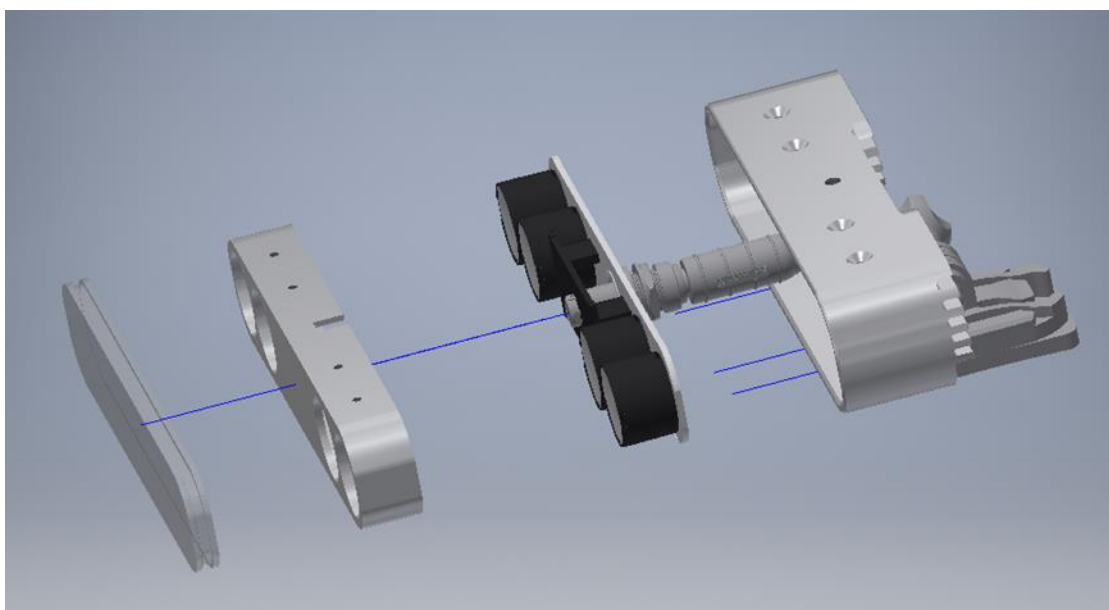
Ensimmäisestä prototyypistä saadun palautteen pohjalta suunniteltiin seuraava malli, jossa myös kotelon tiivistämiseen ja kiinnittämiseen on kiinnitetty huomiota. Tässä vaiheessa suunniteltiin useita erilaisia kotelomalleja. Yksi malleista noudatti ensimmäisestä prototyypistä tuttua mallia, jossa kotelon puoliskot kootaan takapuolelta tulevilla ruuveilla (ks. kuvio 8). Tässä mallissa ruuvien vaatima tila pyrittiin optimoimaan mahdollisimman pieneksi, jonka johdosta kotelon korkeutta saatiin madallettua 12mm.



Kuvio 8. Kotelorakenteen toinen kehitysversio.

Myös keskeltä, liittimen kohdalta avautuvaa mallia tutkittiin, mutta tässä mallissa kotelon tiivistäminen osoittautui ongelmalliseksi.

Valaisimen Koneistettavan prototyypin rakenteeksi valikoitui malli, jossa ulkokuori on koneistettu yhdestä kappaleesta ja elektroniikkaosien kiinnitys tapahtuu erillisellä, kotelon sisään tulevalla kappaleella, joka kiinnitetään ulkokuoreen alapuolelta M3 kokoisilla senkkiruuveilla (ks. kuvio 9). Tällä rakenteella saatiin kotelon korkeudesta vielä noin viisi millimetriä pois. Tämä rakenne myös vähensi kotelon tiivistettävien saumojen lukumäärän kolmesta kahteen.



Kuvio 9. Valaisimen lopullinen rakenne.

8.1.1 Linssi

Koska valaisimen elektroniikassa laidoilla olevat LED-polttimot ovat sijoitettu hyvin lähelle toisiaan, ei niiden tiivistäminen ulkopuolelta tulevaa vettä vastaan ollut mahdollista muuten kuin valamalla elektroniikkapiirin ympäristö täyteen jotakin kosteudelta suojaavaa materiaalia. Tähän ei kuitenkaan lähdetty, sillä se olisi estänyt jäähdytysilman kiertoa lämpöä tuottavien komponenttien ympärillä. Tästä syystä vedeneristys päätettiin toteuttaa kotelon etureunaan tulevalla linssillä. Linssin valinnassa kriteereinä käytettiin lämpötilankestoa, naarmuuntumattomuutta ja koneistettavuutta ilman että linssi säröytyy.

Taulukko 3. Polykarbonaatin ja akryylin vertailutaulukko. (Muokattu kohteesta Acrylic vs. Polycarbonate: a Quantitative and Qualitative Comparison. N.d.)

Ominaisuus	Yksikkö	Polykarbonaatti	Akryyli
Tiheys	g/cm ³	1,2	1,19
Painonnousu upotuksessa	%	0,35	2,1
Vetolujuus	MPa	60 - 70	80
Taivutuslujuus	MPa	90	115
Iskusitkeys	kJ/m ²	35	15
Valon läpäisevyys	%	89	92
Vicat-pehmenemislämpötila	°C	145	115
Paloluokitus	DIN 4102	B2	B2

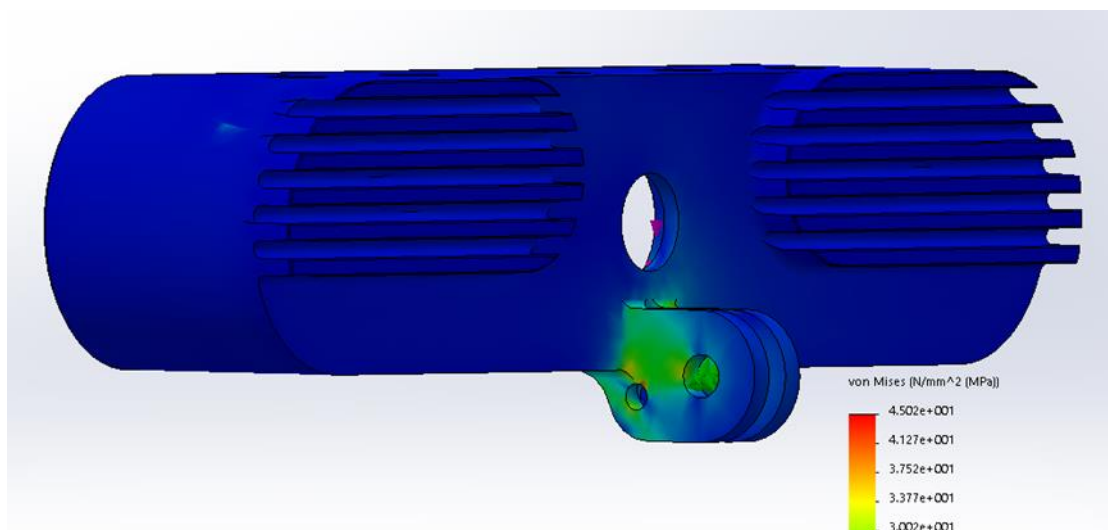
Linssin tulee kestää käyttöä miinus 30 °C:sta aina 90 °C:een. Lisäksi linssin koneistetaan ura kotelon tiivistämisen hoitavaa o-rengasta varten, joten se ei saa olla liian herkkä säröytymään. Linssin materiaaliksi harkittiin sekä akryylistä että polykarbonaatista valmistettua 6 mm paksua levyä. Materiaalien ominaisuuksia on vertailtu taulukossa 3. Molemmat materiaalivaihtoehdot täyttivät linssiltä vaadittavat lujuusominaisuudet eikä niiden välillä ollut merkittävää eroa. Polykarbonaatin huomattavasti parempi iskusitkeys ja pienempi veden imeminen kuitenkin puolsivat polykarbonaatin valintaa. Iskusitkeys on määräävä ominaisuus linssin säröytymisen kannalta niin koneistettaessa kuin käytössä, joten tätä ominaisuutta pidettiin linssille asetettujen vaatimusten täyttymisen kannalta tärkeänä. Korkeampi pehmenemislämpötila lisäsi myös varmuutta linssin keston kannalta mahdollisissa häiriötilanteissa, joissa valaisin pääsee ylikuumenemaan. Työssä selvitettiin myös linssimateriaalien valmista-

jien aikaisempia käyttökokemuksia eri materiaaleista. Valmistajien edustajat suosittelivat käyttökohteeseen kirkasta ja kovapinnoitettua polykarbonaattilevyä, joten tähän myös päädyimme.

8.1.2 Lujuuden simulointi

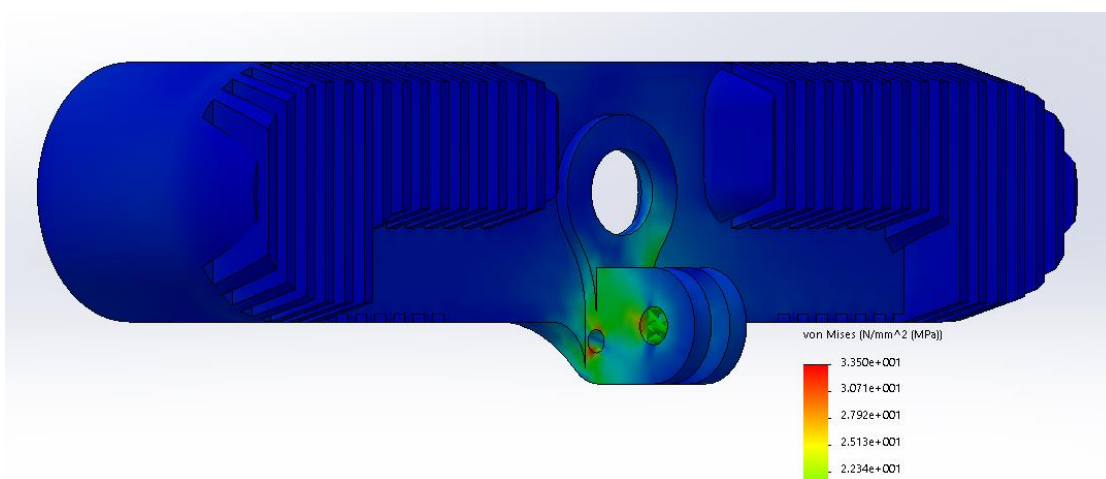
Valaisimen koteloon käytön aikana kohdistuvia rasituksia simuloitiin SolidWorks ohjelmistolla. Laskennan yksinkertaistamiseksi simulaatiot tehtiin pelkästään ulkokotelon rakenteen osalta. Lujuussimulaatioissa on kuitenkin pyritty ottamaan huomioon myös sisäosien massasta aiheutuvat voimat. Koteloon kohdistuvat voimat ovat arvioita, mutta niiden uskottiin kuvaavan käytön aikaisista rasituksista ja värinäistä aiheutuvia voimia.

Lähtöarvoina simulaatioissa käytettiin ulkokoteloon vaikuttavaa kolmen painovoimakiihtyvyyden (g) arvoa 29.43 m/s^2 . Tämän lisäksi valaisimen sisäosien massoista samalla 3 g kiihtyvyydellä aiheutuvat voimat kohdistettiin vaikuttamaan ulkokoteloon tasaisesti jakautuneena massana. Käytön aikana valaisin saattaa osua myös oksiin tai muihin vastaaviin esteisiin. Tämän seurauksena valaisimeen kohdistuu myös kiinnityksen ympäri vaikuttava momentti sekä laitaan kohdistuva voima. Näiden suuruudeksi arvioitiin 1 Nm ja 30 N.



Kuvio 10. Valaisimen kotelon rasitukset 1.

Jännityksen maksimiarvoksi saatiin 45,0 MPa (ks. kuvio 10). Simulaatioista voitiin myös todeta että suurimmat jännitykset kohdistuvat valaisimen kotelon ja kiinnityslaippojen liitoskohtaan. Vaikka simulaatiosta saadut jännitykset eivät ylitä materiaalin myötörajaa 110 MPa (profiilisuunnittelun käsikirja 2016.), ei staattisessa tilanteessa saatua varmuutta 2,44 myötöön voitu pitää riittävänä. Valaisimen massalle asetetut vaatimukset aiheuttivat myös tarpeen ulkokotelon seinämävahvuuden pienentämiseen, joka olisi heikentänyt suunniteltua rakennetta entisestään. Tämän johdosta kotelon ja kiinnityslaipposen liitoskohdan rakenne päätettiin suunnitella uudelleen, kiinnittäen erityistä huomiota kestävyys.



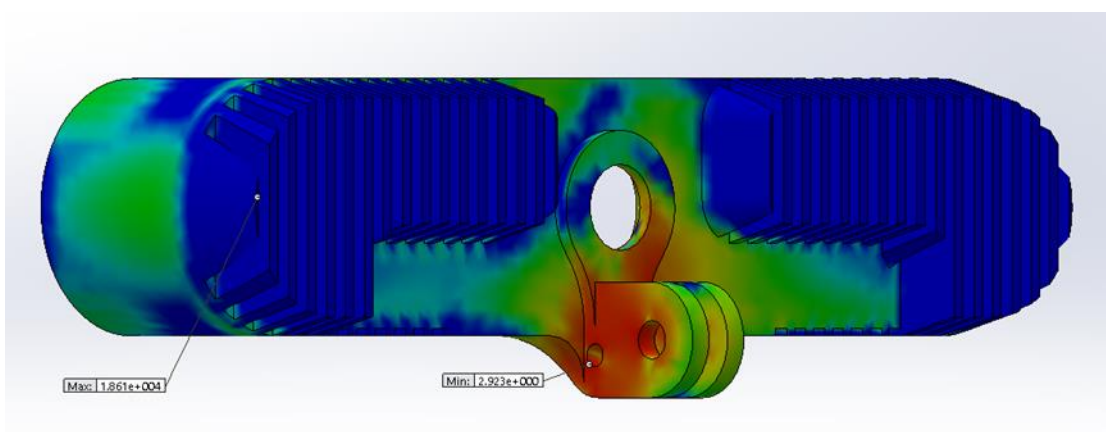
Kuvio 11. Valaisimen kotelon rasitukset 2.

Rakennetta vahvistettiin muun muassa liitoskohdan pyörityksiä kasvattamalla sekä jatkamalla kiinnitysripoja pidemmälle kotelon alapuolelle. Näillä muutoksilla jännityksen suurinta arvoa saatiin pienennettyä noin 25 % (ks. kuvio 11). Muutetun rakenteen maksimijännityksellä 33,5 MPa varmuudeksi saatiin 3,28. Muutoksia voidaan pitää varsin onnistuneina, varsinkin kun otetaan huomioon se, että kotelon materiaalivahvuutta pienennettiin samalla viidestä millimetristä kolmeen.

Valaisimen todellisissa käyttötilanteissa koteloon kohdistuvat voimat ja rasitukset eivät kuitenkaan ole tasaisia, vaan niiden suunta ja suuruus vaihtelevat. Jotta voitiin olla varmoja että valaisin saavuttaa riittävän kestoajan, täytyi työssä tutkia myös kotelorakenteen kestävyttä väsymisen suhteen.

Väsymistarkasteluissa koteloon kohdistuvina voimina käytettiin samoja lähtöarvoja kuin staattisissa lujuussimulaatioissa. Väsymistarkastelun tarkkuuden kannalta on erittäin tärkeää, että simulaatioissa käytetään oikeita materiaaliominaisuuksia. Materiaalin myötölujuuden käyttäytymistä kuormituskertojen funktiona kuvataan niin kutsutulla S-N käyrällä, joka on usein kokeellisesti määritetty juuri tietylle materiaalille. Väsymistarkasteluissa materiaalin S-N käyränä käytettiin 6082-alumiinille kokeellisesti määritettyä (Karolczuk ym. 2015.) käyrää. Valaisimeen kestoikänsä aikana kohdistuvien kuormituskertojen lukumäärän ja laadun määrittämiseksi oletettiin että kuormitukset ovat yhden hertsin taajudella tapahtuvia toisistaan riippumattomia vaihtokuormituksia. Kuormitustaajuuden 1 Hz arvoon päädyttiin siitä syystä, että varsinkin maastoajossa valaisimeen kohdistuvat voimat ja värinät voivat olla hyvin nopeita.

Valaisimen LED-valoelementtien oletettavissa oleva kestoikä on suuruusluokaltaan tuhansia tunteja, eikä valaisimen kotelon haluttu hajoavan normaalikäytössä merkittävästi aikaisemmin. Tästä syystä väsymistarkastelussa kuormituskertojen lukumääränä käytettiin 10 miljoonaa kuormitusta, jolla saavutetaan 1 Hz taajudella noin 2770 tunnin käyttöikä. Näillä arvoilla kotelon varmuudeksi väsymisen suhteen saatiin 2,92 (ks kuvio 12). Voidaankin siis olettaa että valaisimen kotelo kestää myös pidempiaikaisessa käytössä.



Kuvio 12. Kotelorakenteen väsymistarkastelu.

8.1.3 Valaisimen tiivistäminen

Jo opinnäytetyön toimeksiannossa valaisimen käyttökohteiksi on listattu muun muassa enduroja- ja mönkijäkäyttö sekä kalastus. Kaikissa näistä käyttökohteista valaisin altistuu kosteudelle sekä roiskevedelle. Valaisimen tiivistykseen tulikin suunnittelussa kiinnittää erityistä huomiota. Tiiviiden varmistamiseen on paneuduttu niin tiivistettävien pintojen lukumäärän minimoimisella kuin linssin o-rengastiivistyksen huolellisella suunnittelulla. Näiden pintojen lisäksi kotelon mahdollisia vuotokohtia ovat kokoonpanoon käytettyjen senkkiruuvien ja sähköliittimen reiät. Sähköliittimen o-rengasta varten koteloon on koneistettu upotus, johon sähköliittimen valmistajan mittaama tiiviste soveltuu. Ruuvien reikien tiivistäminen tapahtuu kokoonpanon yhteydessä ruuveihin ja kierteisiin lisättävällä liimalla.

Linssin tiivistäminen koteloon tapahtuu staattisella o-rengastiivistyksellä. Tiivisteiden ja uran mitoituksessa on käytetty apuna Trelleborg Oy:n tarjoamaa o-rengaslaskuria. Laskennan lähtökohtana on käytetty valaisimen kotelon sisäreunan ympärysmittaa, joka pyrittiin pitämään muuttumattomana. Tiivistyksen vaatimat mittamuutokset on tehty linssiin, jolloin muutokset ovat helpompia toteuttaa, sillä siinä ei ole toleroituja sovitteita muiden osien kuin kotelon ulkokuoren välillä. Suunnittelussa piti myös pyrkiä käyttämään o-rengaskokoja, joita on yleisesti saatavilla. Tiivistyksen kannalta tärkeitä suunnittelukriteereitä ovat esimerkiksi o-renkaan puristuma ja venymä asennettuna sekä rengasuran täytösprosentti. O-renkaan poikkileikkauksen puristuman tulisi olla staattisessa tiivistyksessä 10 % ja 35 % välillä. Venymän osalta suositus on 2 % - 8 % ja rengasuran täytös saisi olla enimmillään 85 % uran tilavuudesta.

TRELLEBORG Trelleborg Sealing Solutions

ISO Quick Search O-Rings + Housings O-Ring Quick Search O-Ring dimensions

Radial Outer Sealing Radial Inner Sealing Axial Sealing

static dynamic

inch millimeter

My Notes

Input [mm]

	Nominal Size	Standard/Fit	Lower Tolerance Limit	Upper Tolerance Limit	Min. Dimension	Max. Dimension
Bore-Ø	d_4	105.900	H8*	0.000	0.054	105.900 105.954
Piston-Ø	d_5	105.800	f7*	-0.071	-0.036	105.729 105.764
Groove-Ø	d_3	102.700	h9*	-0.087	0.000	102.613 102.700
Groove Width	b_1	2.800	recom.	0.000	0.250	2.800 3.050
Groove Radius	r	0.300	recom.	-0.100	0.100	0.200 0.400
O-Ring Inside-Ø	d_1	100.00	ISO	-0.82	0.82	99.18 100.82
OR Cross-Section-Ø	d_2	2.00	ISO	-0.08	0.08	1.92 2.08

Temperature °C 23 Linear Thermal Expansion Coefficient $10^{-6} K^{-1}$ 175

O-Ring Material Group EPDM O-Ring Material Hardness [IRHD] 75.00

Calculation Results

	Concentric Position		Eccentric Position	
	min.	max.	min.	max.
Compression incl. R [%]	10.68	21.83	4.66	26.01
Compression incl. R [mm]	0.20	0.45	0.09	0.53
Gap g [mm]	0.068	0.113		0.225
Housing Fill [%]	55.27	75.96		
Stretch OR Inside-Ø [%]	1.78	3.55		
R [%]	1.59	2.60		
OR Cross-Section-Ø incl. R [mm]	1.87	2.05		
t [mm]	1.60	1.67		
Total Compression Force [N]	200	614		

1 Warning Message:
1. Cross-sectional Compression (eccentric) < 10%

Version 5.1

ISO = in accordance with ISO 3501-1 Class B
R = Reduction in cross section due to elongation
OR = O-Ring
 t = Radial Housing Depth (incl. gap)
* = in accordance with ISO 286-2

Kuvio 13. O-rengastiivistyksen mitoituslaskelmat.

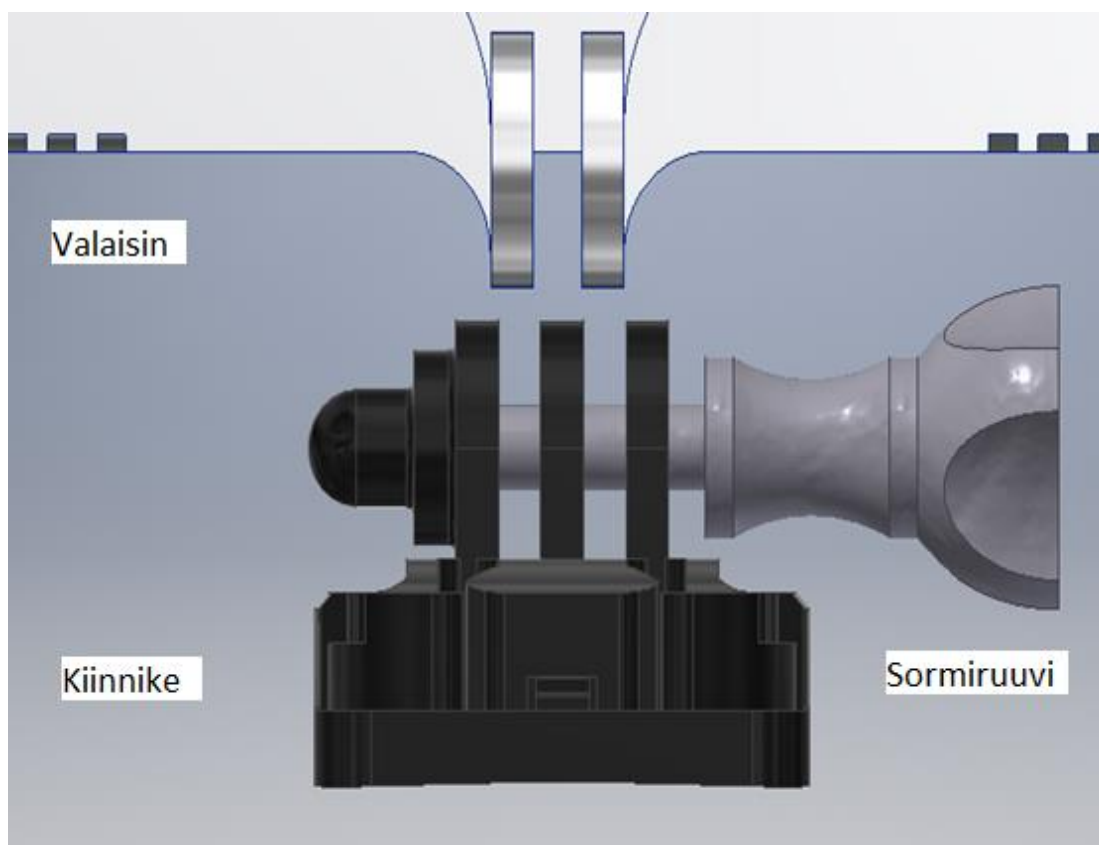
Kuten kuviosta 13 nähdään, aiemmin mainituissa suunnittelukriteereissä onnistuttiin hyvin. Ainoastaan tilanteessa, jossa kotelon sisällä oleva linssi on puristunut koko osien välisen välyksen verran toiseen laitaan, eivät o-renkaan puristumiselle annetut raja-arvot täyty. Koska linssin tiivistys on staattinen, eikä linssiin kohdistu muita voimia kuin valaisimen käytöstä aiheutuva värinä, voitiin suunnittelussa luottaa siihen, että tiivistys toimii.

8.1.4 Kiinnitysratkaisut

Työssä tuli suunnitella valaisimelle kiinnitysjärjestelmä, jolla se voidaan kiinnittää useisiin toisistaan poikkeaviin kohteisiin. Kiinnitysratkaisun tuli myös mahdollistaa valaisimen korkeussuuntainen suuntaaminen ilman että sitä tarvitsee irrottaa käyttökohteesta. Työssä tutkittiin mahdollisuuksia toteuttaa kiinnitys joko kotelossa kiinteänä osana olevalla kiinnikellä tai kotelosta erillistä kiinnikettä hyödyntäen. Valaisimen korkeussäädön tarve aiheutti kuitenkin sen, että kiinteänä osana olevan kiinnikkeen rakenne olisi ollut erittäin hankala toteuttaa. Kotelosta irrotettavan kiinnitysjär-

jestelmän etuna voitiin pitää myös eri käyttökohteisiin räätälöityjen ratkaisujen helppompaa toteutusta. Työssä päädyttiin suunnittelemaan valaisimen kiinnitysjärjestelmä kotelosta irrallista kiinnikettä hyödyntäen.

Kiinnityksen suunnittelu aloitettiin kartoittamalla muiden valaisinvalmistajien kiinnitysratkaisuja. Valaisinmarkkinoilta ei löytynyt sellaista ratkaisua, joka olisi mahdollistanut riittävän monipuolisen ja helppokäyttöisen kiinnityksen eri kohteisiin. Tällainen kiinnitysratkaisu löytyi kuitenkin niin kutsutuissa action-kameroissa yleisesti käytetystä kiinnitysmekanismista. Ennen kuin kiinnitysjärjestelmää voitiin hyödyntää valaisimessa, oli varmistettava, ettei rakennetta ole suojattu patentilla. Mahdollisia patentteja, jotka voisivat estää rakenteen käytön, etsittiin patenttirekistereistä. Kiinnitysjärjestelmän osalta tällaisia patentteja ei löydetty. Työssä konsultoitiin myös patenttioikeuden asiantuntijaa, joka ei nähnyt estettä rakenteen hyödyntämiselle.



Kuvio 14. Valaisimen kiinnike.

Valittu kiinnitysjärjestelmä koostuu kahdesta valaisimen runkoon koneistetusta levystä, jotka limittyvät kiinnikkeen kolmen levyn kanssa (ks. kuvio 14). Levyt puristetaan toisiaan vasten niiden läpi tulevilla sormiruuvilla, jolloin levyt lukittuvat toisiinsa. Sormiruuvin ollessa löysällä, toimii se levyjen välisenä saranana, jonka ansiosta valaisimen kulmaa voidaan säätää. Kiinnike voidaan kiinnittää käyttökohteeseen esimerkiksi kaksipuoleisella teipillä tai ruuvikiinnityksellä.

Koska valaisimen valmistusmäärä ensimmäisessä valmistuserässä oli varsin pieni, ei kiinnikkeitä olisi ollut järkevää valmistaa suurta valmistuserää. Tästä syystä kiinnikkeiden valmistus olisi pitänyt toteuttaa piensarjatuotantona, jolloin myös kiinnikkeiden valmistusmenetelmäksi olisi valikoitunut jyrsimällä koneistaminen. Tämä olisi johtanut niin korkeisiin valmistuskustannuksiin, että omavalmisteena tehdyt kiinnikkeet olisivat olleet huomattavasti kalliimpia kuin ostetut.

Valmiin kiinnikkeen etuina omavalmisteena tehtyyn nähden voidaan pitää myös kiinnikkeiden hyvää saatavuutta ja monipuolista valikoimaa. Kiinnikkeitä on saatavilla kymmeniä eri tarkoitukseen suunniteltuja malleja ja niitä myydään monissa tavarataloissa ympäri maailmaa. Tämä mahdollistaa sen, että valaisimen käyttäjä voi tarvittaessa hankkia juuri omaan tarkoitukseensa sopivan mallin läheltä itseään. Kiinnikettä käytetään normaalisti samankaltaisissa käyttöolosuhteissa ja -kohteissa kuin valaisinta, joten sen toimintaan voitiin luottaa. Kiinnitysjärjestelmän rakenne mahdollisti myös sen, että mikäli myöhemmin päädytään valmistamaan esimerkiksi tiettyyn kypärämalliin sopivia erikoiskiinnikkeitä, voidaan ne yhdistää valaisimen koteloon samaa kiinnitystä käyttäen.

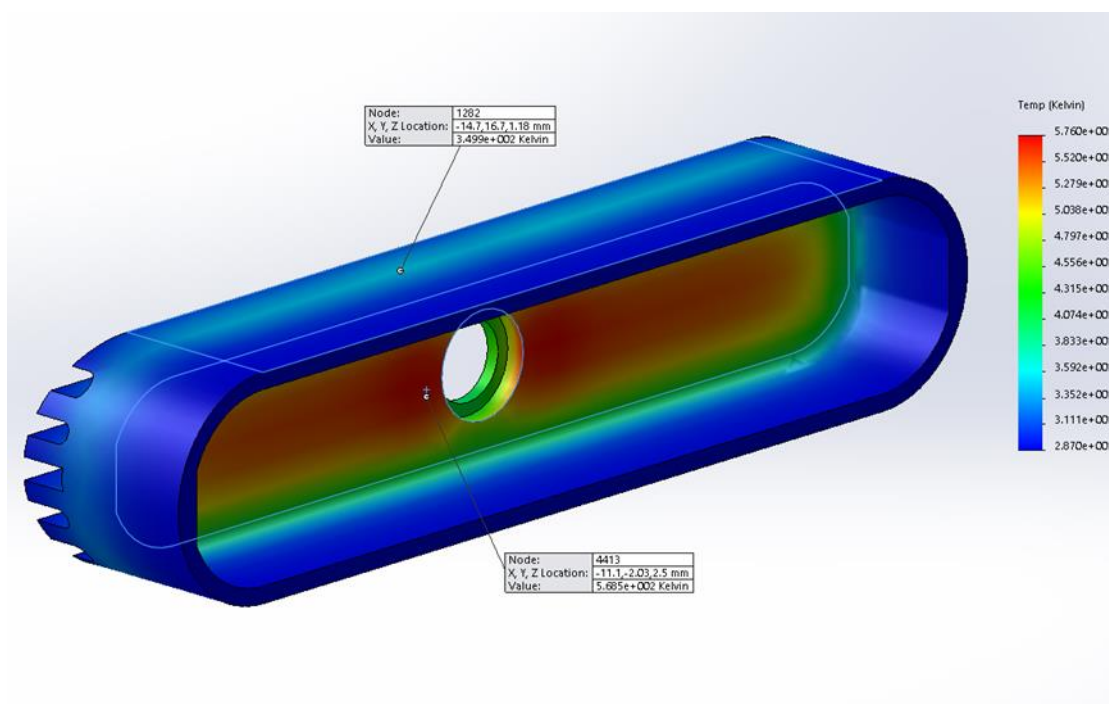
8.2 Lämpötilan hallinta

Valaisimen käyttölämpötilaan vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi valaisimen elektronikkakomponenttien teho, valmistusmateriaali sekä kotelorakenteen muoto. Koska työn toimeksiantaja oli suunnitellut valaisimen elektroniikan ennen opinnäytetyön aloittamista, eikä näihin osiin haluttu tehdä muutoksia, pystyttiin valaisimen käyttölämpötilaan vaikuttamaan ainoastaan kotelomateriaalin valinnalla ja kotelon rakenteen suunnittelulla.

8.2.1 Materiaalin vaikutus käyttölämpötilaan ja materiaalin valinta

Valaisimen kotelomateriaalien osalta vartenotettavina vaihtoehtoina voitiin pitää muovia, alumiinia ja terästä. Materiaalivalintaan vaikuttavia seikkoja olivat valmistuskustannukset, mekaaninen kestävyys, korroosiokestävyys, lämpötilan hallinta, valmistustekniset seikat sekä valmiin tuotteen paino.

Kappaletuotantoon soveltuvia muoveja on olemassa useita eri laatuja ja niitä voidaan valmistaa useilla eri valmistusmenetelmällä. Valaisimen kotelorakenteen sarjatuotantona suoritettavaan valmistukseen hyvin soveltuvia valmistusmenetelmiä ovat esimerkiksi ruiskuvalaminen ja koneistaminen. Lisäksi muovien mekaanisia ominaisuuksia voidaan parantaa seostamalla päämateriaalia esimerkiksi lasi- tai hiilikuidulla. Muovien kohdalla ongelmaksi muodostui kuitenkin niiden matala lämmönjohtavuus. Koska valaisimen elektroniikasta aiheutuvat noin 40 watin lämpökuorma valaisimen kotelon takaosaan, täytyy lämmön päästä poistumaan kotelorakenteiden kautta. Valaisimen elektroniikassa on ominaisuus, joka pystyy laskemaan valaisimen tehoa, mikäli lämpötila nousee liian korkeaksi. Suunnittelussa pitää kuitenkin pyrkiä minimoimaan lämmöstä johtuva valotehon aleneminen. Lämpötilan hallinnan osalta suunnittelun apuna käytettiin tietokoneella tehtävää FEM-analyysiä, jolla pystyttiin simuloimaan lämpötilan johtumista kotelorakenteessa. Alustavissa simulaatioissa lähtöarvoina käytettiin 40 watin lämpötehoa, joka kohdistuu kotelon takaseinään, jota vasten valaisimen piirilevy on kiinnitetty. Materiaalina simulaatioissa käytettiin PE-HD muovia, jolla on muoviksi hyvä lämmönjohtavuus $0,40 \text{ W/(mK)}$. Lämmönläpäisykerroinena (U) simulaatioissa käytettiin $40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, oletuksena että valaisinta ympäröivän ilman lämpötila on 10°C . Myöhemmin tehtyjen virtaussimulaatioiden perusteella kävi selväksi, että lämpötilasimulaatioiden tulokset olivat liian optimistisia, johtuen pääasiassa siitä, että kotelon takaosan kanssa kosketuksissa oleva ilma pyrkii muodostamaan pyörteen kotelon taakse eikä siten jäähdytä niin tehokkaasti kuin oletettu.



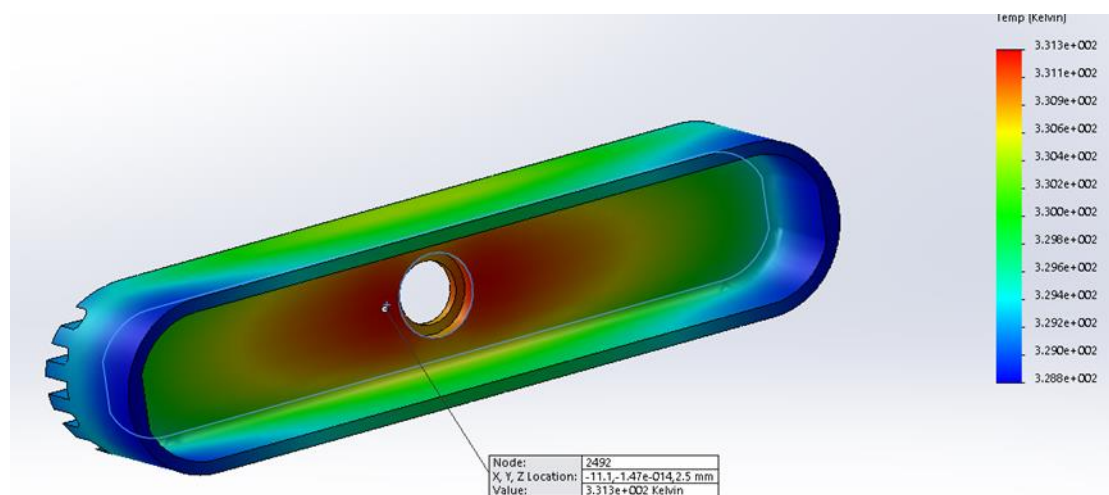
Kuvio 15. PE-HD muovista valmistetun valaisimen lämpötilasimulaation tulokset.

Simulaatioista huomattiin, että kotelon sisäpinnan lämpötila nousee yli 300 celsiusasteeseen (ks. kuvio 15). Vaikka joidenkin muovien lämmönkesto on melko korkea, ei mikään muovi kestä tällaista pintalämpötilaa pitkäaikaisessa käytössä.

Erilaiset alumiiniseokset ovat yleisesti käytössä suurtehoisten valaisinten kotelomateriaalina. Alumiinin eduiksi voidaan lukea muita tutkittuja materiaaleja paremman lämmönjohtavuuden. Tämän lisäksi alumiini on metalliksi melko kevyttä. Alumiinin eduiksi voidaan lukea myös sen soveltuvuus useisiin eri valmistusmenetelmiin. Alumiini soveltuu hyvin valamiseen, suulakepuristukseen ja koneistukseen. Koska kotelon valmistusmenetelmäksi päädyttiin lopulta valitsemaan koneistaminen, oli alumiiniseoksissa paljon valinnanvaraa. Koneistuksen hoitavan yrityksen edustajan kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta nousi lopullisiksi materiaaliveitohdoiksi joko 5052 tai 6082 alumiini. 5052 alumiini on lentokoneteollisuudessa yleisesti käytetty seoslaatu, jolla on erittäin hyvät mekaaniset ominaisuudet. Valaisimen kiinnitys kypärään tapahtuu kuitenkin muovisilla kiinnikkeillä, joiden oletetaan murtuvan ennen alumiinista runkoa, joten 5052 alumiinin käytöllä ei saavuteta etua valaisimen kestävyys-

dessä verrattuna 6082 alumiiniin. 6082 on yleisin koneenrakennuksessa käytetty alumiinilaatu, jota on hyvin saatavilla erikokoisina aihioina. (Sorsa 2015, 187.) Aihioden hyvä saatavuus laskee valmistuksesta aiheutuvia kustannuksia. 6082 alumiinilla on myös suurempi lämmönläpäisykerroin kuin 5052 alumiinilla. ($138 \text{ W/m}^2\text{K}$, $180 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Myös alumiinisen kotelorakenteen käyttölämpötilaa tutkittiin simuloimalla. Simulaatiossa käytettiin samoja lähtöarvoja kuin muovista valmistetun kotelon simulaatioissa. Materiaaliominaisuuksina simulaatiossa käytettiin 6082 alumiinilaadun materiaaliominaisuuksia. Simulaatiossa kotelon pinnan suurimmaksi lämpötilaksi saatiin noin 60°C (ks. kuvio 16).

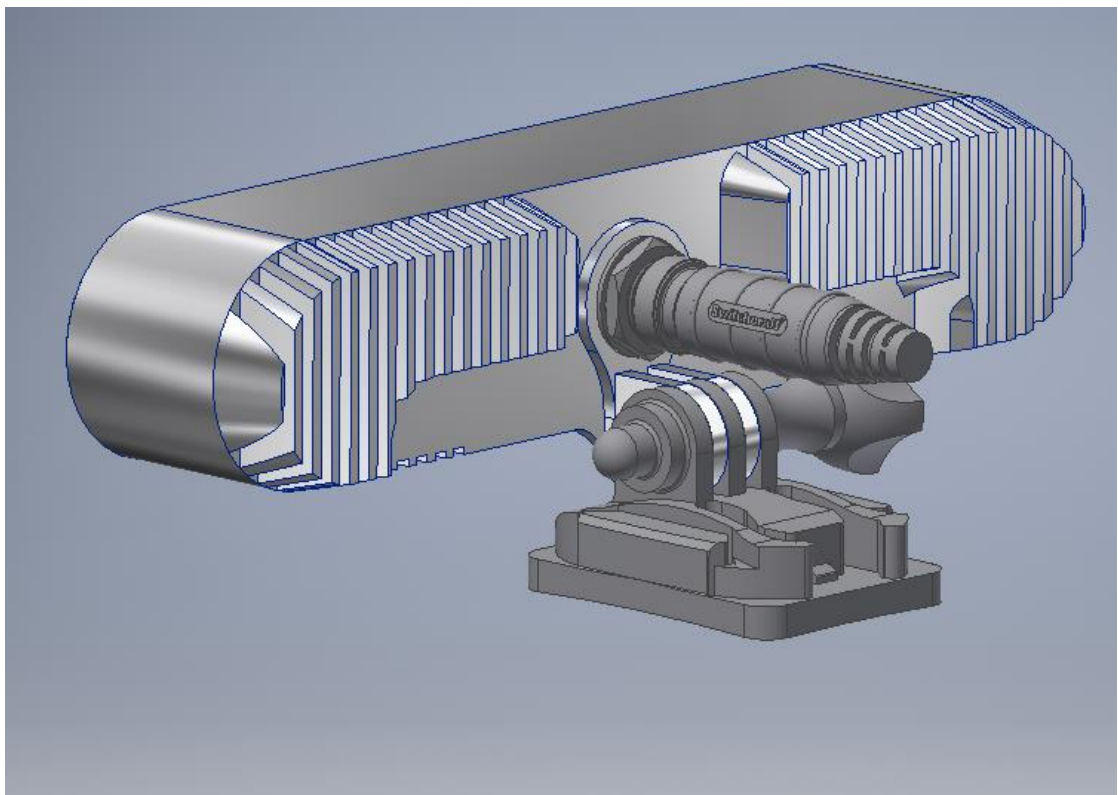


Kuvio 16. Alumiinista valmistetun valaisimen lämpötilasimulaation tulokset.

Mekaanisten ominaisuuksiensa puolesta useat teräslaadut olisivat soveltuvia kotelomateriaaliksi. Terästen kohdalla ongelmaksi muodostuu kuitenkin niiden alumiinia suurempi tiheys ja huonompi lämmönjohtavuus. Koska valaisimen massa on pyrittävä pitämään mahdollisimman alhaisena, jätettiin teräkset tarkemman tarkastelun ulkopuolelle.

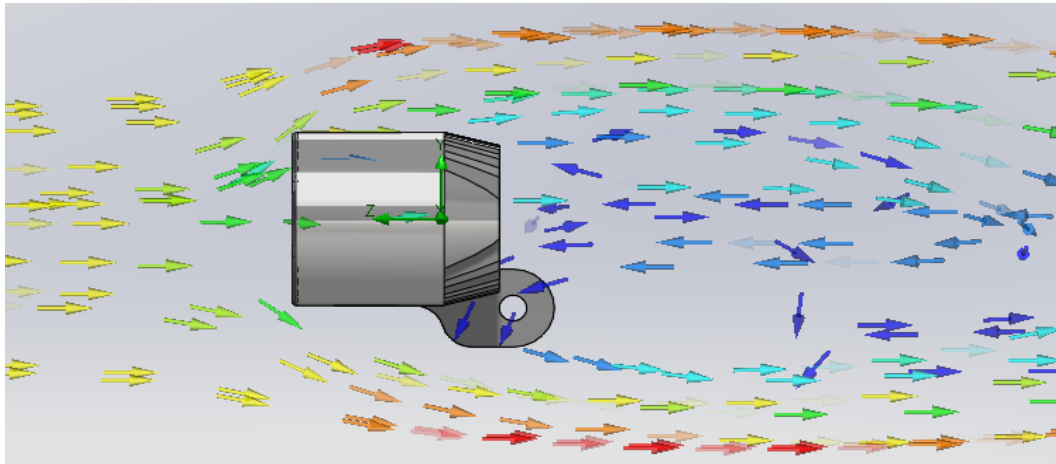
8.2.2 Lämpötilan simulointi

Jäähdytysilman käyttäytymisestä tehty virtaussimulaatio osoitti sen, että prototyyppikotelon jäähdytys ei käytännössä toimi niin hyvin kuin ensimmäiset lämpötilasimulaatiot antoivat ymmärtää. Tämä johtuu siitä, että ilma pyörteilee kotelon takana eikä jäähdytä koteloä hyvin. Tästä syystä kotelon jäähdytysrivat käännettiin pystysuuntaisiksi (ks. kuvio 17). Muutoksen ansiosta ilmavirta pääsee paremmin kosketuksiin jäähdytysripojen kanssa. Jäähdytysripojen pinta-alaa kasvatettiin myös niin paljon kuin valaisimen toiminnan kannalta oli mahdollista.



Kuvio 17. Jäähdytysrivoituksen uusi rakenne.

Virtaussimulaatio tehtiin kuvaamaan jäähdytysilman käyttäytymistä tilanteessa, jossa valaisin liikkuu nopeudella 5 m/s ympäröivään ilmaan nähden.



Kuvio 18. Jäähdytysilman virtaus valaisinta käytettäessä.

Näillä muutoksilla ilmavirta saatiin kulkemaan paremmin myös jäähdytysripojen välissä (ks. kuvio 18). Muutokset lisäävät jäähdytyksen tehokkuutta merkittävästi, sillä niiden jälkeen kotelon pinnan kanssa kosketuksissa oleva ilma vaihtuu nopeammin, eikä ehdi lämmetä niin lämpimäksi kuin aiemmin. Tästä syystä kotelon pinnan ja jäähdytysilman välinen lämpötilaero on suurempi ja jäähdytys toimii tehokkaammin.

Lämmön siirtymistä valaisimen kotelon kautta ulkoilmaan voidaan tutkia myös lämpöenergian johtumista eristekerroksen läpi kuvaavaa kaavaa 1 käyttäen.

$$\Phi = \lambda A \frac{\Delta T}{l} \quad (1)$$

Missä:

Φ = Siirtyvä lämpöenergia

A = Pinta-ala

λ = Materiaalin lämmönjohtavuus (W/(m*K))

ΔT = Pintalämpötilojen erotus

l = Materiaalikerroksen paksuus

Kaavasta voitiin huomata, että lämpöenergiaa saadaan siirrettyä pois jäähdytettävästä kohteesta paremmin, mikäli pinta-alaa kasvatetaan. Kotelon uudella suunnitellulla jäähdytyspinta-alaa saatiin kasvatettua 24300 neliömillimetristä 33600 neliömillimetriin. Myös osin massan minimoimiseksi pienennetty kotelon materiaalivahvuus tehosti kotelon jäähdytystä. Näillä muutoksilla valaisimen lämpötilaa saatiin simulatioiden mukaan laskemaan noin kahdeksalla asteella.

8.3 Prototyyppien valmistus ja hyödyntäminen

Prototyyppien valmistaminen on keskeisessä osassa uuden tuotteen suunnittelussa. Niiden hyödyntämisellä on usein ratkaiseva rooli kilpailukykyisen tuotteen markkinoille tuomisessa. Prototyyppejä voidaan käyttää niin tuotteen ulkonäön, ergonomian kuin teknisten ja toiminnallisten ominaisuuksien arvioimiseen ja viimeistelyyn. (Bingjian & Campbell 2013, 22.)

Työn eri vaiheissa tuotteesta valmistettiin prototyypit sekä ainetta lisäävällä (AM) valmistusmenetelmällä, että alumiinista koneistamalla. AM-menetelmällä valmistettua prototyyppiä hyödynnettiin työssä pääasiassa tuotteen ergonomian ja ulkomuodon arvioimiseen, kun taas alumiinista koneistetusta prototyypistä saatiin tietoa tuotteen valmistettavuuden, käytettävien toleranssien ja lämpötilan hallinnan osalta.

8.3.1 Prototyyppien hyödyntäminen suunnittelussa

Suunnitteluprojektin eri vaiheissa valaisimesta valmistettiin kaikkiaan kolme erilaista prototyyppiä. Ensimmäinen ja kolmas prototyyppi valmistettiin 3D-tulostamalla ja toinen prototyyppi kahdennettuna alumiinista koneistamalla. Tulostamalla valmistettuja prototyyppejä hyödynnettiin suunnittelussa muun muassa valaisimen kiinnitysratkaisujen, sekä käyttöergonomian tutkimukseen. Koneistetuista prototyypeistä saatiin tietoa lämpötilan hallinnasta, tarvittavista toleransseista sekä tuotteen valmistettavuudesta.

8.3.2 3D-tulostettu prototyyppi

Ensimmäinen tuotteesta valmistettu prototyyppi valmistettiin AM-menetelmällä PLA muovista (ks. kuvio 19). Valmistukseen käytettiin FDM-menetelmää käyttävää 3D-tulostinta.



Kuvio 19. Valaisimen pikamallinnettu prototyyppi.

3D-tulostetun prototyypin perusteella tuotteen käyttöergonomiassa havaittiin joitakin puutteita. Valaisimen virtaliittimeen ja kulmasäädön lukitusruuviin tuli päästä käsiksi tarvittaessa myös käsiin kädessä. Prototyyppiä käytettäessä kuitenkin huomattiin, että tämä voi olla haastavaa sen hetkellä kotelorakenteella. Tästä syystä liittimen ja lukitusruuvien ympärillä olevaa vapaata tilaa päädyttiin kasvattamaan jäähdytysrivoitusta muuttamalla.

8.3.3 Alumiinista koneistettu prototyyppi

Vaikka ainetta lisäävät valmistusmenetelmät ovat hyvin käyttökelpoisia tuotteen prototyypin valmistamiseen, ei siten valmistetulla prototyypillä pystytty toteamaan kaikkien tuotteen kannalta oleellisten ominaisuuksien toimintaa. Koska FDM-

menetelmällä valmistettu tuote koostuu useista toisiinsa kiinnittyneestä kerroksesta, ei tuotteen pinnankarheuden tai mittojen osalta päästä samanlaiseen tarkkuuteen kuin lastuavilla valmistusmenetelmillä. Tämän johdosta tuotteessa olevien, tarkasti toleroitujen mittojen ja sovitteiden toimivuuden varmistaminen tulostetun prototyypin pohjalta on mahdotonta. (Turner & Gold 2015, 252.)

Koska PLA-muovi johtaa lämpöä huomattavasti heikommin kuin alumiini, ei prototyyppiä pystytty hyödyntämään valaisimen käyttötötestauksessa, sillä valaisimen lämpötila olisi kohonnut materiaalin lasisiirtymälämpötilan yläpuolelle ja muovikotelo olisi sulanut.

Näistä syistä johtuen valaisimesta valmistettiin kaksi kappaletta alumiinisia prototyyppejä. Näistä prototyypeistä saatiin lisätietoa osa-alueista, joiden testaaminen PLA-muovisilla prototyypeillä oli mahdotonta. Prototyypin alumiiniset osat valmistettiin 6082-alumiinista jyrsimällä. Tämän lisäksi valaisimeen tuleva linssi valmistettiin kovapinnoitetusta polykarbonaatista.

Prototyyppien käyttökokemusten perusteella huomattiin, että valaisimen ulkokotelon lämpötila kohoaa liian korkeaksi silloin, kun valaisimeen ei kohdistu liikkeestä johtuvaa ilmanvirtaa. Kotelon lämpötila nousi 15 minuutin paikallaan käytön aikana noin 45°C:een, ympäröivän ilman ollessa 20°C. Tämä ei vielä vaikuta valaisimen kestävyys-teen, mutta lämpötila tuntuu käyttökokemuksen perusteella epämiellyttävältä. Tehokkaimpana keinona valaisimen lämmön nousun ehkäisemiseksi nähtiin kotelon jäähdytyspinta-alan kasvattaminen. Tätä vaihtoehtoa tukivat myös aiemmin tehdyt lämpötilasimulaatiot. Simulaatioiden pohjalta jäähdytysripojen asentoa päädyttiin kääntämään 90°, jolloin käytöstä aiheutuva ilmanvirta ohjautuu rivoitukseen tehokkaammin. Prototyyppien ja tuotteesta tehdyn 3D-mallin perusteella pystyimme myös arvioimaan, että kyseiset muutokset parantavat valaisimen estetiikkaa, koska siitä tulee virtaviivaisemmän näköinen.

Koska valaisimen kiinnittämisessä käyttökohteeseensa tullaan hyödyntämään ulkopuoliselta valmistajalta hankittavia kiinnikkeitä, joista ei ollut saatavilla tarkkoja mit- takuvia, jouduttiin kotelon ja kiinnikkeen rajapinnan suunnittelussa hyödyntämään

työntömitalla mitattuja arvoja. Näiden mittojen tarkkuus osoittautui prototyypin perusteella riittämättömäksi. Lopulliseen tuotteeseen päätyvät mitat ja toleranssit saatiin korjattua suunnitteluprosessin tässä vaiheessa hyvin helposti.

Prototyyppien avulla saatiin tutkittua polykarbonaatista valmistetun linssin koneistettavuutta sekä suunnitellun kiinnitysratkaisun toimivuutta. Koneistettavuuden kannalta polykardonaatti osoittautui juuri niin hyväksi vaihtoehdoksi, kuin muovin valmistaja oli luvannut, eikä linssin koneistuksessa havaittu ongelmia. Linssin kiinnitys koteloon oli alustavasti suunniteltu toteutettavaksi kirkasta, kaksipuoleista teippiä hyödyntäen. Prototyypeistä kuitenkin huomattiin, että kotelon tiivistyksestä vastaava, linssiin koneistettuun uraan tuleva o-rengas puristaa linssin niin tiukasti kiinni koteloon, että vaaraa linssin irtoamiseen ei ole. Valaisimen koteloon päädyttiin kuitenkin koneistamaan matala vastaura o-renkaalle, joka toimii ylimääräisenä varmistuksena linssin kiinnitykseen. Jättämällä teippi pois, saatiin poistettua epävarmuus teipin väärin käyttäytymisestä käytössä. Jos teippi olisi jätetty varmistamaan linssin kiinnitystä ja olisikin osoittautunut, että teippi tummuu pitkäaikaisen valolle altistumisen johdosta, olisi tästä seurannut suuri riski kalliisiin takuukorjauksiin ja imago-tappioon.

Valaisimen sähköliittimen ja ulkokotelon välisen liitoksen tiivistämiseen käytettävän o-renkaan kokoa päädyttiin myös muuttamaan prototyypeistä saatujen kokemusten perusteella. Liittimen valmistaja on suunnitellut tiivistämisen toteutettavaksi amerikkalaisen MS 29513 standardin mukaisilla, tuumakokoisilla o-renkailla. Näiden tiivisteiden saatavuus Suomesta on kuitenkin melko heikkoa, joten tiivistämiseen päätettiin käyttää eurooppalaisen DIN 3771 standardin mukaisia tiivisteitä. Näiden kahden standardin mukaisten o-renkaiden koot poikkeavat toisistaan jonkin verran. Alustavasti kotelon tiivistämiseen oli päätetty käyttää seuraavaa suurempaa DIN 3771 standardin kokoa kuin mikä liittimen valmistaja oli liitokseen suunnitellut. Tämä aiheutti kuitenkin sen, että asennusvaiheessa o-rengas ei pysynyt sille varatussa urassa. Riskinä oli myös se, että o-rengasura täyttyy yli suositellun 85 %, jolloin tiivistyksen toimivuus saattaa heikentyä. Näiden syiden johdosta lopulliseen valaisimeen päädyttiin valitsemaan pienempi o-rengas, jolloin ongelmilta välttyttiin.

Alumiiniset prototyypit päätettiin valmistaa ilman huuhotusjärjestelmää, jotta huuhottimen tarpeellisuus saadaan määriteltä. Prototyyppien koekäytön perusteella huuhottimelle ei nähty tarvetta, joten se jätettiin lopullisesta valaisimesta pois. Näin valaisimen kotelorakenteesta saatiin yksinkertaisempi ja edullisempi. Tämän lisäksi huuhottimen poistaminen vähensi kotelosta yhden tiivistämistä vaativan liitoksen, jolloin kotelon vesitiiviys saatiin varmistettua paremmin.

8.3.4 Prototyypin anodisointi

Opinnäytetyössä tutkittiin mahdollisuutta suorittaa lopputuotteen anodisointi omana tuotantona, hyödyntäen epäorgaanista kemiallista kastovärjäysmenetelmää. Koska valaisimen valmistusmäärät ovat melko pieniä, nousee anodisoinnin aloituskustannukset korkeiksi suhteessa varsinaisiin kappalekohtaisiin kustannuksiin.

Prototyypin anodisointi suoritettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun kemian laboratoriossa, josta löytyi prosessiin tarvittavat kemikaalit, suojavaarusteet sekä tasavirtalähde. Anodisointi aloitettiin puhdistamalla kappaleet huolellisesti ensin ultraäänipesurilla ja pesuaineella. Tämän jälkeen kappaleet upotettiin laimeaan natriumhydroksidikylpyyn, jossa tuotteen pinta aktivoituu ja puhdistuu edelleen. Tätä prosessin vaihetta kutsutaan myös peittaukseksi. Peittauksessa kappaleen pintaan muodostuu tumma kerros, joka täytyy poistaa ennen varsinaisen anodisoinnin aloittamista. Kerroksen poistaminen tapahtui upottamalla kappale noin 10 prosenttiseen rikkihappoliuokseen, jossa kuona liukeni pois. Tämän työvaiheen jälkeen voitiin varsinainen anodisointi aloittaa.

Anodisoinnissa hyödynnettiin internetistä löytyvää materiaalia, joka on tarkoitettu ohjeistamaan itse tehtävässä anodisoinnissa. (Happonen n.d.) Anodisoinnissa kappale upotettiin noin 20 prosenttiseen rikkihappoliuokseen, joka toimii prosessissa elektrolyytinä. Anodisoitavaan kappaleeseen kytkettiin tasavirtalähteen positiivinen johdin, jolloin siitä tuli sähkökemiallisen parin anodi. Samaan liuokseen upotettiin myös toinen alumiinista valmistettu kappale, johon kytkettiin negatiivinen johdin. Negatiiviseen johtimeen kiinnitettävänä kappaleena, eli katodina, toimi pala alumiinifolia, jonka pinta-ala oli pyritty saamaan samaksi anodisoitavan kappaleen pinta-alan kanssa. Kun virtalähde kytkettiin päälle, alkoi katodin pinnalle muodostumaan

pieniä vetykuplia, jotka nousivat elektrolyyttiliuoksen pintaan. Vedyn muodostumisesta voitiin päätellä, että elektrolyysi oli saatu käynnistymään. Jännitteenä prosessissa käytettiin 18 voltin tasajännitettä. Elektrolyysin annettiin jatkua noin 30 minuuttia, jonka jälkeen kappale otettiin pois happokylvystä ja huuhdeltiin vedellä. Huuhdeltu kappale upotettiin seuraavaksi kuumaan väriaineliuokseen. Väriaineliuoksena prosessissa käytettiin veteen liuotettua tekstiiliväriainetta. Tämän jälkeen kappaleen pinta tiivistettiin upottamalla se kiehuvaan veteen. Tiivistyksessä pintaan muodostuva alumiinihydraatti täyttää metallin huokokset. (Sorsa 2015, 96.)



Kuvio 20. Valaisimen anodisoitu ulkokotelo.

Käytetyllä anodisointiprosessilla kappaleen pinta saatiin anodisoitua kauttaaltaan. Anodisoinnin yhteydessä suoritettu värjäys ei kuitenkaan saanut aikaan myytävälle tuotteelle riittävää laatua, vaan väri jäi epätasaiseksi (ks. kuvio 20). Tämän arveltiin johtuvan kappaleen puhdistuksesta huolimatta pintaan jääneistä epäpuhtauksista, jotka estivät värin tarttumisen kappaleeseen tasaisesti. Jos tuotteita aiotaan jatkossa anodisoida omana tuotantona, täytyy prosessia kehittää tasaisen työnlaadun saavuttamiseksi.

8.4 Massan optimointi

Massalla on hyvin suuri merkitys valaisinta käytettäessä, sillä sen käytöstä aiheutuvat dynaamiset voimat ovat suoraan verrannollisia valaisimen massaan. Kun valaisin on

kiinnitetty kypärään, dynaamiset voimat vaikuttavat varsinkin käyttäjän niskaan kohdistuviin rasituksiin. Tämän lisäksi massa vaikuttaa valaisimen kiinnityksen ja kulman säädön toimintaan ja kestävyys. Tästä johtuen massan minimoiminen oli ensisijaisen tärkeää lopullista valaisinta suunniteltaessa. Valaisimen elektroniikkaosat olivat määritelty jo ennen opinnäytetyön aloitusta, joten massan optimointia voitiin suorittaa vain koneistettujen kappaleiden osalta. Elektroniikan muoto määritteli polykarbonaatista valmistetun linssin muodon, jolloin siihen ei voitu tehdä muutoksia. Linssin tiivisteiden vaatiman uran koneistettavuus, sekä kestävyys määritteli linssiltä vaadittavan minimipaksuuden. Massan optimointia voitiin täten suorittaa ainoastaan alumiinista koneistettavien osien osalta. Elektroniikan muoto rajoitti myös näiden osien muotoa ja näin ollen vaihtoehtoja massan pienentämiseen.

Ulkokotelon osalta massaa pystyi vähentämään lähinnä materiaalipaksuutta pienentämällä. Ohentamiselle haasteita asetti kotelon riittävän kestävyys saavuttaminen. Kotelon tuli olla niin kestävä, että se suojaa valaisimen elektroniikkaa käytössä tulevilta iskuilta ja kolhuilta. Myös kotelon kiinnittäminen koneistuksen aikana asetti tuotteelle omat jäykkyyksivaatimukset. Jäähdytyksen parantamiseksi ulkokotelon jäähdytyspinta-alaa piti myös kasvattaa, mikä omalta osaltaan hankaloitti massan pienentämistä. Ulkokotelon massaa saatiin viimeistelysuunnittelulla pienennettyä 145 grammasta 130 grammaan. Muutos ei ollut kovin suuri, mutta kun otetaan huomioon se, että samaan aikaan kotelon jäähdytyspinta-ala kasvoi 38 %, voidaan osan optimointia pitää onnistuneena.

Sisäkappaleen osalta massan vähentäminen oli huomattavasti helpompaa. Tämä johtui suurelta osin siitä, että osan kiinnittämiseen käytettyjen ruuvien lukumäärää saatiin vähennettyä osien välyksiä muuttamalla. Näin sisäosasta saatiin poistettua kuusi kappaletta kiinnitysruuvien kierteitä varten olevia materiaalin vahvennuksia. Sisäosa ei suojaa valaisinta, vaan sen tarkoitus on pitää sekä elektroniikkaa että linssiä paikallaan. Tämän johdosta sen kestävyys ei ole yhtä kriittinen valaisimen toiminnan kannalta kuin ulkokotelon, joten sen materiaalivahvuutta pystyttiin pienentämään. Näillä muutoksilla sisäosan massaa saatiin pienennettyä 60 grammasta 36 grammaan. Muutosten jälkeen valaisimen kokonaismassaksi saatiin 240 grammaa.

8.5 Valmistusmenetelmän valinta

Varsinkin suurten valmistuserien kohdalla ruiskuvalaminen tulee taloudellisesti kannattavaksi menetelmäksi, sillä muottikustannusten lisäksi kappalekohtaiset kustannukset jäävät pieniksi ja valmistaminen on hyvin nopeaa. Tuotteen monimutkaisen rakenteen johdosta kotelon valaminen vaatisi kuitenkin muotin, joka pitää sisällään liikkuvia rakenteita. Liikkuvien muottien valmistuskustannukset ovat selvästi kiinteitä muotteja korkeammat. Tämän opinnäytetyön tapauksessa oletettu 50 kappaleen kokonaisvalmistusmäärä on kuitenkin niin pieni, että muotin valmistuskustannukset tekevät valamisen kannattamattomaksi.

Myös suulakepuristaminen on sarjatuotantona valmistettavien rakenteiden tuotantoon soveltuva valmistusmenetelmä. Suulakepuristamisessa materiaalia pursotetaan koneistetun muotin läpi, jolloin saadaan aikaan yhtenäisen poikkileikkauksen omaava profiilia. Suulakepuristamisessa muottikustannukset ovat usein pienemmät kuin valamisessa mutta kappaleen muodon osalta vapaus ei ole yhtä suuri. Valmistusmenetelmä soveltuu hyvin esimerkiksi muovi- ja alumiiniprofiilien valmistamiseen. Koska suulakepuristamisella voidaan tuottaa vain yhtenäistä profiilia, ei sillä pystytä tuottamaan koteloon soveltuvaa rakennetta joka ei vaatisi jälkikoneistusta. Lisäksi profiilirakenne vaatisi erilliset päätytulpat joilla kotelo saadaan suljettua. Tämä taas lisää koneistettavien kappaleiden lukumäärää. Eräältä profiilien valmistajalta tehtyjen kyselyiden pohjalta selvisi myös, että ainakin heidän minimitoimituserän koko on 250 Kg, joka riittäisi noin 1000 valaisimeen. Lisäksi koteloon soveltuvan profiilin valmistaminen vaatisi sopivien muottien valmistuksen. Myös tämä valmistusmenetelmä tulee liian kalliiksi pienille erille ja se rajaa kotelon rakenneratkaisuja liiaksi.

Aiemmin mainittujen valmistusmenetelmien osoittauduttua kannattamattomiksi, päädyimme valmistamaan valaisimen kotelot jyrsimällä. Jyrsintä mahdollistaa hyvin vapaan valinnan käytetyn materiaalin osalta. Lisäksi käytettävissä oleva 5-akselinen

nc-koneistuskeskus mahdollistaa hyvin vapaan toteutuksen muotojen osalta. Jyrsiminen on kannattava valmistusmenetelmä silloin kun erät ovat pieniä, tuotteelta vaaditaan suurta tarkkuutta ja kappaleen muoto on monimutkainen.

8.6 DFMA-menetelmän hyödyntäminen suunnittelussa

Koska tuotetta, jota tässä opinnäytetyössä käsitellään, on tarkoitus valmistaa sarjatuotantona, on tuotesuunnittelussa kiinnitettävä erityistä huomiota valmistuskustannusten ja valmistusajan minimoimiseen. Tuotteen valmistusaikaan voidaan lukea kuuluvaksi myös kokoonpanoon käytettävä aika. Näiden syiden johdosta tuotteeseen tehtiin prototyyppien pohjalta muutoksia, joiden tarkoitus on valmistuskustannusten ja valmistusajan minimoiminen sekä kokoonpanotyön helpottaminen. Tällaista suunnittelua kutsutaan myös DFMA-suunnitteluksi. DFMA-lyhenne tulee sanoista design for manufacturing and assembly, jolla tarkoitetaan tuotesuunnittelua, jossa tuotteen valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen kiinnitetään erityistä huomiota. DFMA-suunnittelun yhtenä lähtökohtana on myös tuotteeseen tulevien osien lukumäärän minimoiminen. Tällä saadaan säästöä sekä lyhyemmän kokoonpanoajan että pienemmän varastosaldon kautta.

Koneistettavien kappaleiden DFMA-menetelmän mukaiseen suunnitteluun Bogue (2012) esittää seuraavia huomioon otettavia seikkoja:

- Suurille valmistusmäärille harkitse valettuja tai muotoon taotuja materiaaliaihioita koneistusmäärän minimoimiseksi
- Suunnittele tuote kiinnityksen helppoutta silmällä pitäen. Pyri siihen, että koneistettavassa aihiossa on tarpeeksi jäykkiä ja kohtisuoria kiinnitystasoja
- Vältä ohuita seinämiä sekä syviä reikiä ja upotuksia, jotta kappale kestää kiinnityksen ja koneistuksen muodon muuttumatta
- Vältä vastapäästöjä ja muita muotoja jotka vaativat erikoistyöstöä tai erikoistyykaluja
- Jos mahdollista, vältä karkaistuja tai muuten hankalasti koneistettavia materiaaleja
- Pyri asemoimaan koneistettavat pinnat saman tason suuntaisiksi koneistusvaiheiden määrän minimoimiseksi

Prototyypeistä saatujen kokemusten pohjalta valaisimeen tehtiin joitakin kokoonpanoa helpottavia ja nopeuttavia muutoksia. Valaisimen ulkokotelon ja sen sisälle tulevan kappaleen välisiä toleransseja muutettiin tiukemmiksi. Tällä muutoksella sisäosa saatiin asemoitua tarkemmin kotelon sisään, jonka johdosta kiinnitysruuvi määrä voi vähentää kahdeksasta kahteen. Ruuvien poistamisella saavutettiin taloudellista hyötyä niin koneistettavien kierrereikien, kuin myös kokoonpantavien osien, lukumäärän vähenemisen kautta. Muutoksella saatiin myös parannettua kotelon vesitiiviyttä sekä ulkonäköä, sillä jäljelle jääneet kiinnitysruuvit voitiin sijoittaa valaisimen alapuolelle, jolloin valaisimen ollessa asennettuna kiinnikkeeseensä ne eivät ole näkyvissä. Valaisimen ulkokotelon etureunassa olevaa viistettä muutettiin myös loivemmaksi, jolloin linssin ja ulkokotelon välisen liitoksen tiivistämiseen käytettävän o-renkaan asentaminen saatiin helpommaksi.

Tuotteen osien koneistettavuuden parantaminen, sekä koneistusaikojen minimoiminen oli lopullisen tuotteen suunnittelussa hyvin tärkeässä roolissa. Suunnittelun lähtökohtana käytettiin työn tilaajan ja valaisimen koneistuksesta vastaavan yrityksen edustajan kanssa käydyssä palaverissa esiin tulleita parannusehdotuksia sekä DFMA-suunnitteluperiaatteita. Muutokset käsittivät muun muassa tuotteen pyöristysten suunnittelun sellaisiksi, että ne voidaan koneistaa suuremman työstöarvon omaavilla terillä. Muodot pyrittiin suunnittelemaan myös siten, että niiden koneistaminen onnistuu mahdollisimman vähillä kappaleen käännoillä. Näillä muutoksilla tuotteen koneistukseen käytettävää aikaa saatiin lyhennettyä, jolloin myös tuotteen valmistuskustannukset laskivat.

9 Pohdinta

Työssä suunniteltiin toimeksiantajan valmistamalle valaisimelle kotelointi, jonka tuli suojata valaisimen elektroniikkaa ulkoisilta rasituksilta ja kosteudelta. Työn tavoitteiden toteutumisen kannalta haasteita asetti se, että valaisimelle asetetut tavoitteet olivat joiltain osin toisiaan poissulkevia. Työssä pyrittiin löytämään valaisimen kotelorakenteelle sellainen ratkaisu, joka täyttäisi asetetut tavoitteet mahdollisimman ko-

konaisvaltaisesti. Suunnittelussa piti pyrkiä sellaiseen ratkaisuun, ettei mikään tehdyistä ratkaisuista estäisi tai heikentäisi valaisimen toimintaa sille suunnitellussa käytössä.

Työssä paneuduttiin valaisimen massan minimoimiseen, sillä kypärään kiinnitettynä liiallinen paino aiheuttaa käyttäjän niskaan ylimääräistä kuormitusta, jolloin valaisimen käytöstä tulee epämiellyttävää. Liiallinen massa aiheuttaisi myös valaisimen kiinnitykseen rasituksia, jotka voisivat johtaa joko valaisimen rikkoontumiseen, tai sen irtoamiseen käyttökohteesta. Valaisimen keveyden kannalta työssä haasteita asettivat niin elektroniikan muoto ja jäähdytyksen tarve, kuin valmistuskustannuksien pitäminen kohtuullisena. Mikäli valaisimen massaa olisi pyritty merkittävästi pienentämään nykyisestä, olisi valaisimen rakenteesta täytynyt tehdä muodoltaan monimutkaisempi tai tinkiä sen jäähdytyskyvystä. Monimutkaisemman rakenteen valmistaminen olisi kasvattanut tuotteen valmistuskustannuksia ja täten myyntihintaa. Nykyinen kotelointirakenne on myös suunniteltu sellaiseksi, että se on muutettavissa pienillä muutoksilla soveltumaan valmistettavaksi valamalla.

Myös valaisimen lämpötilan hallintaan kiinnitettiin työssä erityistä huomiota, sillä valaisimen kuumetessa valaisimen tehoa joudutaan laskemaan elektroniikan suojaamiseksi. Lämpötilan hallintaa ja kestävyyttä optimoitiin sekä tietokoneavusteisilla virtaus- ja lämpösimulaatioilla, että materiaalivalinnoilla. Näin pyrittiin varmistamaan se, että valaisimen jäähdytys toimii riittävän hyvin kaikissa tilanteissa. Valaisimen jäähdytystä olisi pystytty parantamaan entisestään esimerkiksi jäähdytysrivoitusta kasvattamalla. Valaisimen koteloon olisi myös ollut mahdollista koneistaa muotoja, jotka olisivat ohjanneet jäähdytysilmaa siten, että jäähdytys olisi tehostunut. Nämä muutokset olisivat kuitenkin aiheuttaneet kompromisseja niin valmistuskustannusten, massan kuin myöhemmin mahdollisesti hyödynnettävien valmistusmenetelmien suhteen.

Valaisin suunniteltiin erityisesti maastossa ajettavaa enduroa silmällä pitäen. Suunnittelussa otettiin kuitenkin huomioon myös muita mahdollisia käyttötarkoituksia, kuten työmaakäyttö ja kalastus. Tämän johdosta valaisin voi käytössä altistua erittäin

koville rasituksille ja vaihteleville käyttöolosuhteille. Valaisimen täytyi olla rakenteeltaan niin vahva, että se ei vaurioidu normaalista käytöstä johtuvista kolhuista tai roiskevedestä. Valaisin soveltuu harrastuskäytön lisäksi myös kilpakäyttöön, jonka johdosta sen kestävyys ja virheettömyys toimintaan pitää pystyä luottamaan. Luotettavuuden takaamiseksi valaisimen kotelo suunniteltiin valmistettavaksi yhdestä alumiinikappaleesta. Tällä rakenteella kotelosta saatiin erittäin kestävä. Kyseinen kotelorakenne mahdollisti myös tiivistettävien pintojen lukumäärän minimoimisen, jonka ansiosta valaisimen vesitiiviys saatiin hyväksi. Myös valaisimen kotelon rakenteen lujuus optimoitiin simuloimalla. Näin saatiin varmistettua se, että kotelo kestää siihen kohdistuneet rasitukset myös pitkäaikaisessa käytössä. Valaisimen käyttöergonomian suunnittelussa hyödynnettiin 3D -tulostettua ja alumiinista koneistettua prototyyppiä sekä niistä saatavaa käyttäjätietoa.

Työssä laajalti käytetyt simulaatiot aiheuttivat myös tiettyä epävarmuutta työn tuloksiin epävarmojen ja arvioihin perustuvien lähtöarvojen vuoksi. Valaisimen käytöstä saadut käyttäjäkokemukset ja testitulokset (Liite 3) kuitenkin tukivat työssä tehtyjä rakenneratkaisuja. Työssä suunniteltu valaisin pääsi osallistumaan enduron harrastajien keskuudessa arvostetun OffRoadPro-lehden kypärävalovertailuun, jossa se menestyi erittäin hyvin. Valaisinta keuhuttiin muun muassa toimivasta kiinnitysjärjestelmästä sekä hyvästä valotehosta. Vaikka valaisin ei valomäärän mittaamiseen käytettävien lumenien määrässä pärjännyt kaikkein kalleimmille kilpailijoilleen, ei pienemmillä valoteholla ollut vaikutusta käytössä. Myös valaisimen hinta saatiin pysymään kilpailukykyisenä muihin saman tehoisiin valaisimiin verrattuna.

9.1 Jatkotutkimusaiheet

Tuotekehitysprojektissa aikaansaadun tuotteen kehityksen ei välttämättä ole järkevää päättää tuotteen lanseeraukseen, vaan kehitystä voi monessa tapauksessa jatkaa myös myynnin aloittamisen jälkeen. Kehitystyön jatkamisella tuotteeseen voidaan tuoda uusia ominaisuuksia, sen toiminnallisuutta voidaan parantaa ja valmistuskustannuksia pienentää tulevien valmistuserien osalta. Työssä pohdittiin myös mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

9.1.1 Valmistuseräkoon vaikutus tuotteen yksikkökustannuksiin

Tuotteesta tehtyä 50 kappaleen valmistuserää voidaan pitää sarjatuotantoon melko pienenä. Mikäli tuotetta tullaan tulevaisuudessa valmistamaan suurempi erä, on syytä tutkia, kuinka suurempaa eräkokoa voidaan hyödyntää valmistuskustannusten minimoimiseksi. Suuremmalla eräkoolla voidaan saada kustannussäästöä esimerkiksi valmistuksessa käytettävien materiaaliainhioiden pienemmän hankintahinnan, kappalekohtaisen asetusajan lyhenemisen sekä pienempien rahtikustannusten kautta. Suurempi valmistuserä voi myös vaikuttaa siihen, mikä valmistusmenetelmä on kaikkein edullisin.

9.1.2 Vaihtoehtoisten valmistusmenetelmien hyödyntäminen

Työssä tutkittujen valmistusmenetelmien lisäksi tuotteen valmistuksessa on mahdollista hyödyntää myös muita menetelmiä. Viime vuosina yleistyneet ainetta lisäävät valmistusmenetelmät voivat avata uusia mahdollisuuksia valaisimen valmistamiseen. Jo nykyään metallin tulostukseen soveltuvien koneiden yleistyminen ja halventuminen on tehnyt menetelmästä joissain tapauksissa varteenotettavan valmistusmenetelmän. Ainetta lisääviä valmistusmenetelmiä voidaan hyödyntää myös tarkkuusvalussa käytettävien vaha- tai muovimallien valmistamisessa. Valaisimen nykyinen kotelorakenne soveltuu hyvin tarkkuusvalamiseen, sillä tarkkuusvalu ei kertamuottimenetelmänä vaadi päästöjä kappaleisiin. Tarkkuusvalun edut tulevat esille keskisuurten valmistuserien, joille ei vielä ole taloudellisesti kannattavaa valmistaa monimutkaisia muotteja, kohdalla. Tätä suurempia valmistuserien kohdalla esimerkiksi painevalu voi tulla kyseeseen.

9.1.3 Fysiologinen tutkimus käyttäjän niskan kuormituksesta

Mikäli valaisinta käytetään kypäräkäytössä, aiheuttaa valaisimen massa väistämättä myös kuormitusta käyttäjän niska- ja hartiaseudulle. Kuormituksen haittavaikutusten minimoimiseksi olisi tulevaisuudessa aiheellista tutkia valaisimen kypäräkiinnityksen sijoittelua ja sen vaikutusta käyttäjään kohdistuviin rasituksiin. Fysiologiseen tutkimukseen tulisi sisältyä myös niskatuen tai muiden apuvälineiden, joilla rasituksia voidaan pienentää, hyödyntäminen ja kehittäminen.

Lähteet

Aaltonen, K., Aromäki, M., Ihalainen, E. & Sihvonen, P. 2002. Valmistustekniikka. 9. p. Helsinki: Otatieto.

Acrylic vs. Polycarbonate: a Quantitative and Qualitative Comparison. N.d. Artikkelin Hyrdosight Oy:n verkkosivuilta. Viitattu 28.3.2017.

<http://www.hydrosight.com/acrylic-vs-polycarbonate-a-quantitative-and-qualitative-comparison/>

Alumiinit, N.d. Wikipedia artikkeli. Viitattu 6.11.2016

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Alumiini>

Bingjian, L. Campbell, E. 2013. Real-time integration of prototypes in the product development process. Assembly automation, Vol. 33 lss 1 pp. 22 – 28. Viitattu 6.3.2017.

<http://dx.doi.org/10.1108/01445151311294621>

Birkhofer, H. Jänch, J. 2006. The development of the guideline VDI 2221 – The change of direction. Viitattu 19.1.2017.

<http://docentes.uto.edu.bo/mruizo/wp-content/uploads/VDI2221.pdf>

Bogue, R. Design for manufacture and assembly: background, capabilities and applications. Assembly automation, Vol 32 lss 2 pp. 112-118. Viitattu 20.2.2017.

<http://dx.doi.org/10.1108/01445151211212262>

Happonen, T. Alumiinin anodisointi. Viitattu 21.11.2016

<http://www.timohapponen.net/anodisointi/>

Hietikko, E. 2013. Palkki. Lujuuslaskennan perusteet. Helsinki:BoD

Hietikko, E. 2015. Tuotekehitystoiminta. 3. p. Helsinki: BoD

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2013. Tutki ja kirjoita. 15 p. Porvoo: Bookwell.

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. 6. uud. p. Helsinki: Otatieto.

Karolczuk, A. Kurek, M. Łagoda, T. 2015. Journal of theoretical and applied mechanics 53: Fatigue life of aluminium alloy 6082 T6 under constant and variable amplitude bending with torsion. Viitattu 20.3.2017

https://www.researchgate.net/publication/275971939_Fatigue_life_of_aluminium_alloy_6082_T6_under_constant_and_variable_amplitude_bending_with_torsion

Lahtinen, R., Mahiout, A., Mahlberg, R., Mikkola, J., Pahkala, A., Siivinen, J. 2008. Alumiinin pintaominaisuudet ja pintakäsittelyt. VTT tiedotteita 2431, Viitattu 12.12.2016

Lähteenmäki, E. 2015. Hyvä tietää muovista, osa 1. Polymeerit ja muovit. Muoviplast 1/12, 26-29.

Maaranen, K. 2012. koneistus. 1. p. Helsinki: Sanoma Pro.

Malina, M. Nørreklit, H. Selto, F. 2011. Lessons learned: advantages and disadvantages of mixed method research. Qualitative Research in Accounting & Management, Vol. 8 Iss 1 pp. 59 – 71

Mikä on patentti?. N.d. Artikkelit patentti- ja rekisterihallituksen sivuilta. Viitattu 23.11.2016

<https://www.prh.fi/fi/patentit/patentoinninabc/mikaonpatentti.html>

Pathak, K. Sharma, K. Sharma, P. 2014. International Journal of Research in Engineering and Technology: Role of CAD/CAM in design, developing and manufacturing of new product.

esatjournals.net/ijret/2014v03/i06/IJRET20140306026.pdf

Profiilisuunnittelun käsikirja. 2016. Purso Oy:n www-sivut. Viitattu 29.8.2016.

http://www.purso.fi/files/8314/3134/9277/purso_profiilisuunnittelun_kasikirja.pdf

Raaka-ainekäsikirja osa 5, Alumiinit. 2006. Helsinki:Teknologiateollisuus

Riihimäki, T. 2016. Materiaalia lisäävän valmistuksen hyödyntäminen tarkkuusvalussa. 3D-tulosteiden soveltuvuus vahamenetelmään. Opinnäytetyö, AMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma.

Salonen, S. Let there be light. OffroadPro, 17, 8, 66-69. Viitattu 3.4.2017

Sandvik Oy. 2008. Corokey terien esite. Viitattu 4.11.2016

Sorsa, J. 2015. Materiaalitekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Turner, B. Gold, S. 2014. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Rapid Prototyping Journal, 20. Viitattu 26.1.2017

<http://dx.doi.org/10.1108/RPJ-01-2013-0012>

Turner, B. Gold, S. 2015. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: II. Rapid Prototyping Journal, 21. Viitattu 19.1.2017.

<http://dx.doi.org/10.1108/RPJ-02-2013-0017>

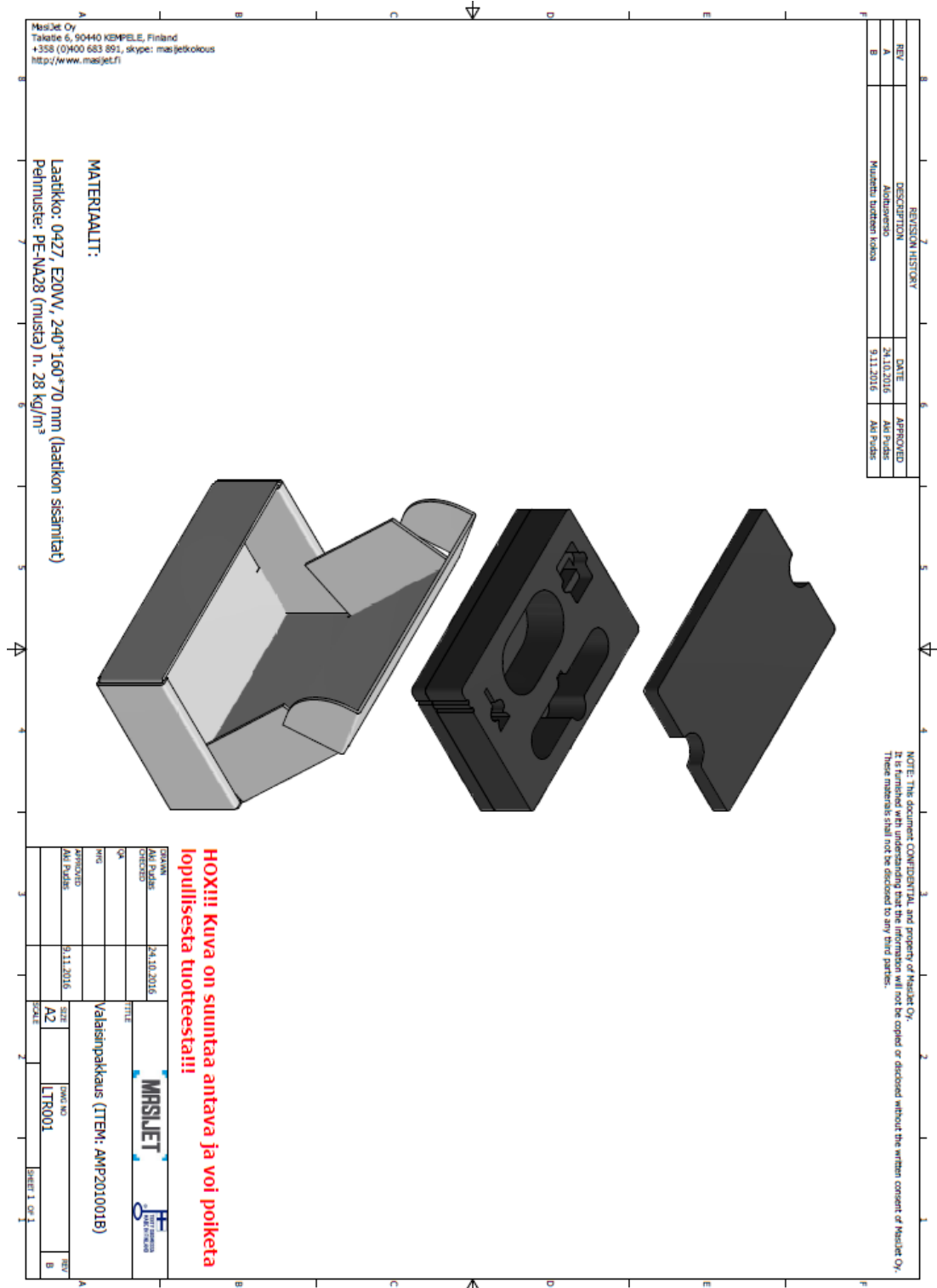
Valtanen, E. 2013. Tekniikan taulukkokirja. 20. p. Jyväskylä: Genesis-kirjat

Vilkka, H. 2015. Tutki ja kehitä. 4. uud. p. Juva: Bookwell.

Zienkiewicz, O. Taylor, R. Nithiarasu, P. 2005. The Finite Element Method for Fluid Dynamics. 6. p. Oxford: Butterworth-Heinemann

Liitteet

Liite 1. Myyntipakkauksen havainnekuva (Masijet Oy)



Liite 2. Valaisimen käyttöohjeet



Roihu-special valaisin

Onnittelemme valinnastasi ja toivomme valoisa hetkiä Roihu-specialin kanssa!

Tekniset tiedot	leveys	syvyys	korkeus
mitat [mm]	155	38	33
materiaali	alumiini		
pintakäsittely	anodisoim.		
kotelointiluokka	IP63*		
paino [g]	240		
valovoima [lm]	2800		
virtalämpötila [K]	4500		

* ilman liitintä IP20

Sähköiset ominaisuudet

Käyttöjännite [V]	10...24 DC
Ottoteho [W]	35
Virtankulutus max [A]	3,2 (13,8V)

Valaisin toimitetaan ilman virtalähdettä. Käytettäessä virtalähteenä akkua suositeltava käyttöjännite on 12 V ja kapasiteetti 10 Ah. Käyttöjännitteen oltava ehdottomasti tasajännite!

Toiminnalliset ominaisuudet

Valaisimessa on sisäänrakennettu valotehon säätöominaisuus. Käyttöjännitteen laskiessa automaattisesti säätää valon toimintaa seuraavasti:

Käyttöjännite	toiminto	huom!
8...11 V	valo himmenee	turvatoiminnaksi
alle 8 V	valo sammuu	suoja akkua

Huomaa, että virransyötön katkaisujännite riippuu käytettävän akkupaketin turvapiirin ominaisuuksista!

Valaisimessa on ylälämpösuojapiiri. Ottoteho laskee valaisimen kotelon lämpötilan noustessa.

Kotelon lämpötila	toiminto	huom!
70...85 °C	valo himmenee	turvatoiminnaksi
ylä 85 °C	valo minimiteholla	turvatoiminnaksi

Kun valaisin on jäähtynyt riittävästi, valo kirkastuu automaattisesti.

Huom!

Roihu special sisältää 1 m johdon ja vesitiiviin virtaliittimen. Vain tämä liitintyyppi on hyväksytty käytettäväksi vesija pölytiivyyden varmistamiseksi. Liittimen käyttö on takuun voimassaolon edellytys.

Roihu special FI ver. 1.0 2016

Käyttöohje

Valaisin kiinnitetään käyttökohteeseen pakkauksessa olevan kiinnitysjalan avulla. Liitä valaisin kiinnitysjalkaan M5-ruuvilla. Suuntaa valaisin ja kiristä ruuvi kohtuullista voimaa käyttäen. Pujota varmistusvaijeri valaisimen rungon kiinnityskohdassa olevaan reikään ja kiinnitä se soveltuvaan kohtaan käyttökohteeseen. Näin vähennät valaisimen kaatoariskin sen mahdollisen irtoutumisen yhteydessä.

Kytke valaisin virtalähteeseen valaisimen mukana toimitettua liitintä käyttäen. Ainoastaan tasajännitteinen 12V virtalähde on sallittu, sillä vaihtojännite tuhoaa valaisimen piirikortin. Käyttäessäsi virtalähteenä akkua noudata sen valmistajan ohjeita.

Valaisin kirkastuu täyteen käyttötehoonsa noin sekunnissa, mikä edistää valaisimen käyttömukavuutta ja -turvallisuutta. Toiminto suojaa myös valaisimen ledejä äkillisiltä lämpötilanvaihteluilta jo lisää led-elementtien käyttöikää.

Ledien arvioitu kesto on noin 40 000 käyttötuntia käytettäessä valaisinta normaaleissa olosuhteissa. Valmistaja takaa noin 70 prosenttisen ledien kirkkauden myös tuon ajan kuluessa.

Huom! Valaisin ei sovellu tieliikennekäyttöön.

Takuuehdot

Tuotteella on kahden vuoden takuu ostopäivästä lukien.

VAROITUS: Jos käytät Roihu specialia kypärävalona, varmista, että kiinnitys täyttää voimassaolevat vaatimukset. Valaisinta tai sen jalustaa ei saa liimata, liimatarraa käyttäen tai muuten kiinnittää suoraan kypärään eikä lipan kiinnikkeisiin.

VAROITUS: Sähkö- ja elektroniikkaromua ei saa hävittää kotitalousjätteen seassa. Tuotteen ollessa elinkaarensa lopussa voit viedä sen kierrätyskeskukseen tai palauttaa ostopaikkaan.

VAROITUS: Valaisimen kotelon saattaa kuumentua käytettäessä valaisinta lämpimissä olosuhteissa.

Valmistaja

Lehto Trading Oy / Työvalot.fi
Karkhankantaantie 1131
92500 Rantsila
050-4801401
info@tyovalot.fi
www.tyovalot.fi

Tuote on suunniteltu ja valmistettu Suomessa.

Liite 3. Kypärävalovertailu